

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

GRUPO DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA



PROYECTO FIN DE CARRERA

Ingeniería Industrial: especialidad Automática y Electrónica Industrial

**Caracterización de comunicaciones inalámbricas en la banda de
2.45 GHz mediante Analizador de Espectro**

Octubre de 2012

AUTOR: Javier del Monte Pérez

TUTOR: Juan Vázquez Martínez

CO-DIRECTOR: Roberto Martínez Bejerano

Agradecimientos

Este proyecto fin de carrera no podría haberse llevado a cabo sin el inestimable apoyo de todas aquellas personas, en mayor o menor medida, me han ayudado a lo largo de mi vida.

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor, Juan Vázquez Martínez, y mi codirector, Roberto Martínez Bejerano, el apoyo y ayuda que me han prestado durante toda la realización de este proyecto. Gracias por vuestra absoluta disponibilidad y por vuestros consejos.

Debo agradecer también al Grupo de Sistemas Electrónicos de Potencia (GSEP) por permitirme hacer uso de la instalaciones del laboratorio de EMC durante todo el desarrollo de este trabajo.

A mi familia, en especial a mis abuelos, siempre os agradeceré el cariño y apoyo mostrado, aunque en ocasiones no haya sabido agradecerlo lo suficiente.

A mis padres, Matías y Mercedes, a los cuales les debo absolutamente todo cuanto tengo y soy. Gracias por haber sido un ejemplo a seguir con vuestro esfuerzo y sacrificio diario, creo que jamás podré agradecerlos todo cuanto habéis hecho por mí. Gracias por haber estado siempre ahí. También merece un reconocimiento especial mi hermano Miguel Ángel, cuya nobleza hace que merezca la pena levantarse cada mañana.

A mis amigos, gracias por haber estado siempre ahí, gracias por todos los buenos momentos que hemos pasado (que han sido muchos) y por apoyarme en todos los malos momentos (que han sido los menos). Todos y cada uno de vosotros habéis hecho de mí una mejor persona y sois una parte muy importante en mi vida, gracias de verdad por todo.

A todos los que menciono, y aquellos que sin querer dejo olvidados, solo puedo decir una cosa: GRACIAS.

Contenido

| | |
|---|-----------|
| Listado de acrónimos | 5 |
| Capítulo 1: Introducción y objetivo | 6 |
| 1.1 Objetivos..... | 6 |
| 1.2 Compatibilidad Electromagnética Wi-Fi | 7 |
| Capítulo 2: Norma aplicable ETSI EN 300 328 | 9 |
| 2.1 Propósito de la Norma: | 9 |
| 2.2 Especificaciones técnicas..... | 9 |
| 2.2.1 Clasificación FHSS o DSSS | 9 |
| 2.2.2 Potencia máxima transmitida (<i>E.I.R.P.</i>) | 10 |
| 2.2.3 Máxima densidad espectral EIRP (<i>Maximum E.I.R.P. Spectral Density</i>) | 10 |
| 2.2.4 Rango de frecuencia (<i>Frequency Range</i>) | 10 |
| 2.2.5 Emisiones espurias transmitidas (<i>Transmitter Spurious Emissions</i>)..... | 10 |
| 2.2.6 Emisiones espurias recibidas (<i>Receiver Spurious Emissions</i>)..... | 11 |
| 2.3 Requerimientos adicionales | 11 |
| 2.3.1 Información sobre el equipo | 11 |
| 2.3.2 Valores de incertidumbre..... | 12 |
| 2.4 Procedimiento de medida..... | 12 |
| 2.4.1 Potencia máxima transmitida (<i>E.I.R.P.</i>) | 12 |
| 2.4.2 Máxima densidad espectral EIRP (<i>Maximum E.I.R.P. Spectral Density</i>) | 14 |
| 2.4.3 Rango de frecuencia (<i>Frequency Range</i>) | 15 |
| 2.4.4 Emisiones espurias transmitidas (<i>Transmitter Spurious Emissions</i>)..... | 16 |
| 2.4.5 Emisiones espurias recibidas (<i>Receiver Spurious Emissions</i>)..... | 18 |
| Capítulo 3: Recursos empleados | 19 |
| 3.1 Hardware..... | 19 |
| 3.1.1 Set-up de pruebas | 19 |
| 3.1.2 Cámara anecoica..... | 19 |
| 3.1.3 Antena..... | 20 |
| 3.1.4 Analizador de espectro | 22 |
| 3.1.5 PC de control | 22 |
| 3.1.6 Canal de comunicación GPIB | 23 |
| 3.2 Software de control..... | 23 |
| 3.2.1 LabVIEW..... | 23 |
| Capítulo 4: Aplicación Wi-Fi 328 para prueba de Routers | 25 |
| 4.1 Descripción general | 25 |
| 4.2 Programa WIFI 328 | 25 |
| 4.2.1 Introducción..... | 25 |
| 4.2.2 EIRP | 26 |
| 4.2.3 Maximum EIRP Spectral Density | 27 |
| 4.2.4 Frequency Range | 28 |
| 4.2.5 Transmitter Spurious Emissions..... | 29 |
| 4.2.6 Receiver Spurious Emissions | 31 |
| 4.2.7 Resultados..... | 32 |
| 4.2.8 VIs complementarios | 33 |

| | |
|---|-----------|
| Capítulo 5: Validación y pruebas | 35 |
| 5.1 Validación del software Wi-Fi 328..... | 35 |
| 5.2 Pruebas sobre Routers comerciales..... | 42 |
| 5.2.1 Movistar Teldat i-Router | 43 |
| 5.2.2 Orange LiveBox ARV7519RW22-A-LT | 48 |
| 5.2.3 Orange LiveBox Refresh 2 Sp Rev-2. | 53 |
| Capítulo 6: Conclusiones y líneas futuras de trabajo | 58 |
| 6.1 Principales conclusiones | 58 |
| 6.2 Líneas futuras de trabajo | 58 |
| Anexos | 60 |
| Anexo I – Unidades empleadas | 60 |
| Anexo II – Manual de usuario WIFI 328..... | 61 |
| Anexo III – Tablas | 67 |
| Bibliografía | 75 |

Listado de acrónimos

- CISPR – Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques.
- DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum.
- EIRP – Equivalent Isotropic Radiated Power.
- EMC – ElectroMagnetic Compatibility.
- EMI – ElectroMagnetic Interference.
- ETSI – European Telecommunications Standard Institute.
- EUT – Equipment Under Test.
- FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum.
- GPIB – General Purpose Interface Bus.
- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- ISM band – Industrial, Scientific and Medical band.
- LabVIEW – LABoratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench.
- LAN – Local Area Network.
- PSD – Power Spectral Density.
- RBW – Resolution BandWidth.
- VBW – Video BandWidth.
- VI – Virtual Instrument (LabVIEW).
- VSWR – Voltage Standing Wave Ratio.
- WLAN – Wireless Local Area Network

Capítulo 1: Introducción y objetivo

1.1 Objetivos

El objetivo principal del presente proyecto es la elaboración de un programa de prueba específico para la verificación de Routers Wi-Fi de acuerdo a la Norma aplicable en la Unión Europea, desde el punto de vista de la Compatibilidad Electromagnética, como paso previo a un proceso de Homologación en Laboratorio acreditado.

Los problemas creados por las interferencias electromagnéticas han llevado a que instituciones reguladoras y organismos de normalización, tanto a nivel nacional como internacional, hayan creado una serie de normas con el fin de minimizar o evitar los problemas que pudieran ocasionar dichas interferencias electromagnéticas. Además, estas normativas sobre compatibilidad electromagnética se actualizan continuamente, para adaptarse a los avances de la técnica [1]. Una norma puede quedar obsoleta poco después de su publicación, hecho que en ocasiones obliga a rediseñar el dispositivo desde el punto de vista EMI.

La disposición aplicable actualmente al caso concreto de este PFC, es la Norma EN 300 328, versión 1.8.1 [2]. Esta Norma se aplica en España desde la Resolución 21089 publicada en el BOE número 305, de 22 de diciembre de 2005. No obstante, este proyecto maneja la versión 1.7.1 debido a la publicación de dicha actualización durante el desarrollo del proyecto, en línea con la rápida obsolescencia de las normas anteriormente mencionada. Como suele ser habitual, una nueva versión de una norma suele suponer una ampliación y aclaración de los requisitos exigidos.

La Norma EN 300 328 antes mencionada se aplica a dispositivos de transmisión de datos en banda ancha que operan en la banda ISM de 2.4 GHz. Dichos equipos emplean alguno de los siguientes protocolos para la comunicación de datos en banda ancha vía radio: Wi-Fi (IEEE 802.11), BluetoothTM, HomeRFTM, ZigbeeTM, etc. [3]

Por otra parte, el proceso de verificación de cualquier tipo de aparato respecto de la Norma es largo y laborioso, con constantes paradas para realizar, en ciertas ocasiones, leves cambios. Es por esta razón por la cual una automatización de dicho proceso se hace necesaria, puesto que conllevará un ahorro drástico en el tiempo empleado y, con ello, un ahorro de costes considerable. Si a todo esto se le suma otras ventajas propias de la automatización de un proceso, como son la precisión (capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones diferentes realizadas en las mismas condiciones) y la exactitud (cercanía del valor de referencia que hemos usado para calibrar el instrumento al valor medido), la automatización del proceso de verificación de la norma queda más que justificada.

Así pues, el presente proyecto describe un protocolo de prueba de Routers Wi-Fi, basado en un nuevo programa desarrollado expresamente en lenguaje de programación LabVIEW, que mediante la automatización y el control de un analizador de espectro como parte esencial del *setup* de prueba, permite la validación de dicho Router según la Norma EN 300 328.

1.2 Compatibilidad Electromagnética Wi-Fi

Desde los primeros pasos de la radio y el telégrafo (finales del siglo XIX y principios del XX), se tenía constancia que estos aparatos generaban energía electromagnética, en forma de ondas, y que existía la posibilidad de que dichas ondas produjeran interferencias sobre otros aparatos eléctricos o electrónicos, tales como receptores de radio o sistemas de comunicación [4].

Debido al bajo número de todos estos aparatos en aquellos momentos, y a la lógica distancia existente entre unos y otros, la corrección de los problemas derivados de las mencionadas interferencias resultaba relativamente sencillo [4].

No obstante, el estudio (a lo largo de todo el siglo XX), cada vez más acentuado, de técnicas que permitieron la fabricación y desarrollo de, un cada vez mayor, número de componentes y aparatos eléctricos y electrónicos ocasionó que los problemas producidos por interferencias fueran cada vez mayores. Además, si a ésto se le suma la tendencia a la reducción del tamaño de los componentes, lo cual se traduce en un mayor número de aparatos en un menor espacio, el mencionado problema se ve agudizado de manera considerable.

Por otra parte, antes de profundizar en las cuestiones propias de este PFC, debe establecerse, en primer lugar, la diferencia entre *ruido* e *interferencia*, entendiéndose como ruido *cualquier señal eléctrica presente en un circuito aparte de la señal deseada*, mientras que se define como interferencia *efecto no deseado producido por cualquier tipo de ruido* [1].

En segundo lugar, conviene definir el concepto de compatibilidad electromagnética, siendo ésta la habilidad de un sistema electrónico para:

- 1) Funcionar correctamente en un entorno electromagnético planeado
- 2) No ser una fuente de polución electromagnética en dicho entorno [1].

La compatibilidad electromagnética presenta tres aspectos principales, amén de otros muchos de menor importancia, como son la *susceptibilidad*, la *inmunidad* y la *emisión*. Se entiende susceptibilidad como *la capacidad de un aparato o circuito a responder al ruido*. Su opuesto es *inmunidad*, siendo definido el nivel de inmunidad de un aparato o circuito como *el entorno electromagnético en el cual un equipo puede operar satisfactoriamente, sin degradarse, y con un margen de seguridad definido*. Por último, el concepto de *emisión* guarda estrecha relación con el concepto de fuente de polución electromagnética. Controlando la cantidad de energía electromagnética emitida por un aparato, se controla el entorno electromagnético en el cual otros dispositivos pueden funcionar, es decir, controlando el nivel de emisión de un dispositivo, se pueden reducir, o eliminar, problemas de interferencia en otros dispositivos y, además, facilitar la existencia de un entorno electromagnético compatible [1].

Una vez aclarados los conceptos claves de la compatibilidad electromagnética, conviene centrarse en uno de los conceptos clave de este PFC, como es la compatibilidad electromagnética en los sistemas de comunicación Wi-Fi.

A lo largo de los últimos años, el uso de las WLAN en el mercado de redes locales LAN se ha visto incrementado de manera considerable. Concretamente, las WLAN basadas en el protocolo IEEE 802.11 (denominado comúnmente como Wi-Fi), han experimentado un uso cada vez más extendido, debido a que aúnan movilidad y flexibilidad junto con un coste de instalación y mantenimiento bajo [5]. Dentro de una red Wi-Fi, uno de sus elementos más importante y que permite su conectividad es el Router. Un Router es un dispositivo que proporciona conectividad a nivel de red, siendo su función principal el envío de paquetes de datos de una red a otra, es decir, interconectar subredes, siendo una subred un conjunto de máquinas, cada una con su propia dirección IP, que pueden comunicarse sin la intervención de un Router (mediante *bridges*), y que por tanto tienen prefijos de red distintos.

Esta proliferación de redes Wi-Fi (y con ello la proliferación de Routers), genera un aumento de las interferencias electromagnéticas existentes, ya de por sí numerosas. Por esta razón, hoy en día, se hace necesario que todos los elementos generadores de EMI en una red Wi-Fi (básicamente, todo Router presente en la misma) sean electromagnéticamente compatibles, es decir, cumplan con la Norma EN 300 328.

Toda red de comunicaciones Wi-Fi que trabaje en la banda de 2.4 GHz dispone de un total de trece canales, en el caso europeo, para hacer posible el envío y recepción de datos, en el caso de la existencia de más de una red en una misma ubicación.

Cada canal se encuentra definido por su frecuencia central, siendo indicado en la siguiente tabla el valor de frecuencia correspondiente a cada canal.

Tabla 1.1: Lista de canales WLAN banda 2.4 GHz

| Canal | Frecuencia (MHz.) |
|--------------|------------------------------|
| 1 | 2412 |
| 2 | 2417 |
| 3 | 2422 |
| 4 | 2427 |
| 5 | 2432 |
| 6 | 2437 |
| 7 | 2442 |
| 8 | 2447 |
| 9 | 2452 |
| 10 | 2457 |
| 11 | 2462 |
| 12 | 2467 |
| 13 | 2472 |

Capítulo 2: Norma aplicable ETSI EN 300 328

Durante el presente capítulo se procederá a realizar una breve descripción, lo más somera posible, de la Norma en torno a la cual se estructura el presente PFC, dado que, debido al *copyright* existente, la Norma no puede ser reproducida de manera íntegra.

2.1 Propósito de la Norma:

La Norma empleada en este PFC es la Norma EN 300 328 V1.7.1 que fue publicada por ETSI en Octubre de 2006. Dicha normativa forma parte de un conjunto de normas desarrolladas por ETSI, cuya idea principal es la de fijar una estructura modular para la realización de ensayos sobre equipos de radiotelecomunicaciones según la directiva R&TTE. La mencionada estructura es mostrada en la Norma EG 201 399.

La Norma EN 300 328 antes mencionada se aplica a dispositivos de transmisión de datos en banda ancha que operan, en su totalidad o parcialmente, en la banda ISM de 2.4 GHz. Dichos equipos emplean alguno de los siguientes protocolos para la comunicación de datos en banda ancha vía radio: Wi-Fi (IEEE 802.11), BluetoothTM, HomeRFTM, ZigbeeTM, etc.

La mencionada banda ISM presenta una frecuencia inferior de 2.4 GHz y una frecuencia superior de 2.4835 GHz.

2.2 Especificaciones técnicas

La Norma hace hincapié en que los requisitos técnicos, referidos a las condiciones de contorno, dependen de la información suministrada por el proveedor del equipo bajo prueba.

2.2.1 Clasificación FHSS o DSSS

Dicho proveedor deberá también establecer las características de modulación del equipo a estudiar. Con el objetivo de decidir qué nivel de densidad espectral es aplicada al equipo, la Norma define dos categorías de equipos: aquellos conformes con las características de la modulación FHSS y aquellos que no. A continuación son definidos los dos principales tipos de modulación:

- **FHSS**: Consiste en variar la frecuencia de la señal portadora según un patrón pseudoaleatorio, solamente conocido por emisor y receptor.
- **DSSS**: Consiste en multiplicar la señal de información por la secuencia de código. [6]

Para ser considerado FHSS el equipo deberá:

1) Hacer uso de, al menos, 15 canales bien definidos, sin solapamiento, separados por el ancho de banda de canal, medido 20dB por debajo del pico máximo de potencia. O bien, si es capaz de adaptar la frecuencia, estar capacitado para usar más de un 90% de la banda ISM y entre los que usaría un mínimo de 20 canales.

2) La separación mínima entre canales será de 1MHz., mientras que el tiempo de emisión por canal no deber exceder el valor de 0.4 s.

3) Cada canal debe ser ocupado al menos una vez durante un periodo que no exceda cuatro veces el tiempo de emisión por canal.

En el caso de no cumplir estas condiciones el equipo sería evaluado como sistema DSSS.

2.2.2 Potencia máxima transmitida (*E.I.R.P.*)

Se define como la potencia isotrópica radiada equivalente (E.I.R.P.) por el equipo. Según la Norma, el valor máximo de la *potencia isotrópica radiada equivalente* debe ser igual o menor a 100 mW o, lo que es equivalente 20 dBm.

2.2.3 Máxima densidad espectral EIRP (*Maximum E.I.R.P. Spectral Density*)

Máximo valor de EIRP, medido en vatio por hertzio (W/Hz), generado por el transmisor en la envolvente de potencia. Su valor límite, en el caso de modulación no FHSS, es 10 mW/MHz., o bien 10 dBm/MHz..

2.2.4 Rango de frecuencia (*Frequency Range*)

Definida por los valores f_H (frecuencia superior) y f_L (frecuencia inferior). Ambas frecuencias son definidas como la frecuencia de potencia máxima en la cual el valor de la densidad espectral EIRP desciende por debajo del valor de -80 dBm/Hz. El valor de ambas frecuencias no deben exceder los rangos de la banda ISM, es decir: $f_L > 2.4 \text{ GHz}$. y $f_H < 2.4835 \text{ GHz}$.

2.2.5 Emisiones espurias transmitidas (*Transmitter Spurious Emissions*)

Son definidas como emisiones fuera del rango de frecuencia cuando el equipo se encuentre en el modo transmisor y/o modo *standby*. Los valores máximos admitidos dependen de la clasificación del espurio (banda ancha o estrecha). Dicha clasificación será definida más adelante.

Tabla 2.1: Valores límites de espurios transmitidos en banda estrecha

| Rango de frecuencia | 30MHz. - 1GHz | 1 – 12.75 GHz | 1.8 – 1.9 GHz |
|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Operando | -36 dBm | -30 dBm | -47 dBm |
| Standby | -57 dBm | -47 dBm | -47 dBm |

Tabla 2.2: Valores límites de espurios transmitidos en banda ancha

| Rango de frecuencia | 30MHz. - 1GHz. | 1 – 12.75 GHz. | 1.8 – 1.9 GHz. |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| Operando | -86 dBm/Hz | -80 dBm/Hz | -97 dBm/Hz |
| Standby | -107 dBm/Hz | -97 dBm/Hz | -97 dBm/Hz |

2.2.6 Emisiones espurias recibidas (*Receiver Spurious Emissions*)

Son definidas como emisiones a cualquier frecuencia cuando el equipo se encuentra en modo receptor. Los límites en banda estrecha y en banda ancha para esta situación son los siguientes:

Tabla 2.3: Valores límites de espurios recibidos en banda estrecha

| Rango de frecuencia | 30MHz. - 1GHz | 1GHz - 12,75GHz |
|---------------------|---------------|-----------------|
| Límite | -57 dBm | -47 dBm |

Tabla 2.4: Valores límites de espurios recibidos en banda ancha

| Rango de frecuencia | 30MHz. - 1GHz | 1GHz - 12,75GHz |
|---------------------|---------------|-----------------|
| Límite | -107 dBm/Hz | -97 dBm/Hz |

2.3 Requerimientos adicionales

Durante la realización del ensayo, la fuente de alimentación debe proveer al EUT una alimentación estable, manteniendo un nivel de tolerancia relativa durante el ensayo de un 1%. Además la frecuencia de la fuente de potencia deberá oscilar entre 49 y 51 Hz.

Además, las medidas deben ser realizadas en condiciones normales de temperatura y humedad, en las cuales la temperatura de la cámara anecoica debe estar en el rango de +15 a +35°C y la humedad relativa entre el 20 y el 75% .

2.3.1 Información sobre el equipo

Sobre el equipo a probar es necesario conocer ciertos parámetros antes de realizar el ensayo:

- 1- Tipo de modulación: FHSS o DSSS.
- 2- Rango, o rangos, de frecuencia operativa.
- 3- Rango de temperatura en la que el equipo puede utilizarse.
- 4- Configuraciones de potencia que ofrece el equipo y si tiene una o varias¹ antenas.
- 5- Tensión nominal.

¹ Si posee antenas inteligentes, modo de distribución de potencia simétrico o asimétrico y el número de cadenas transmitidas y recibidas.

- 6- Modulación de prueba empleada.
- 7- Protocolo de acceso implementado en el equipo.

2.3.2 Valores de incertidumbre

A continuación, se exponen los valores permitidos por la normativa. Con ellos se consiguen niveles de confianza en torno al 95%. En nuestros ensayos emplearemos únicamente medidas radiadas por lo que los datos referidos a conducidas no nos afectarían.

Tabla 2.5: Valores de incertidumbre permitidos por la Norma EN 300 328

| Parámetro | Incertidumbre |
|--|-----------------------|
| Potencia total RF, en conducidas | $\pm 1,5 \text{ dB}$ |
| Densidad de potencia RF, en conducidas | $\pm 3 \text{ dB}$ |
| Emisiones espurias, en conducidas | $\pm 3 \text{ dB}$ |
| Resto de emisiones, en radiadas | $\pm 6 \text{ dB}$ |
| Temperatura | $\pm 1^\circ\text{C}$ |
| Humedad | $\pm 5 \%$ |
| Voltajes DC | $\pm 3 \%$ |

2.4 Procedimiento de medida

Para las pruebas, el EUT deberá operar durante todas las pruebas con un ciclo de trabajo de al menos el 10%.

En el caso de que el EUT disponga de antenas inteligentes (*Smart Antennas*), deben desactivarse todas a excepción de una. Después, el valor de potencia obtenido será multiplicado por el número de antenas.

Para la realización de las pruebas, debe emplearse la configuración de ensayo (o set-up de pruebas) descrito en el próximo capítulo (apartado 3.1.1).

2.4.1 Potencia máxima transmitida (*E.I.R.P.*)

En la medida de este parámetro se aplican los apartados 4.3.1.2, 5.3.3 y 5.7.2.1 de la Norma, que se resumen a continuación.

En el supuesto de que los equipos dispongan de ajuste de potencia, durante la relación de esta prueba la potencia del equipo se mantendrá en su valor máximo.

Según la Norma, esta prueba deberá realizarse bajo condiciones normales (anteriormente mencionadas en el apartado 2.3) y bajo condiciones extremas de temperatura (rango de temperatura en -20°C y 55°C). La cámara anecoica presente en el laboratorio donde se realizaron las medidas no dispone de un dispositivo para modificar la temperatura, por lo tanto todos los ensayos serán realizados únicamente bajo condiciones normales de temperatura.

A continuación, se expone la secuencia de pasos para la realización de la prueba. Esta secuencia se realizará para tres canales: el canal de frecuencia máxima, el de frecuencia mínima y el de frecuencia media.

Paso 1:

Configurar el analizador de espectro con los siguientes parámetros:

Tabla 2.6: Configuración Paso 1 E.I.R.P.

| Frecuencia | Span | RBW | VBW | Detector | Trace Mode | Time |
|------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------|------------|--------|
| Centro del Canal | Suficiente para cubrir ancho canal | $\approx 10\%$ Canal | $\approx 10\%$ Canal | Peak | Max Hold | 1 min. |

Paso 2:

Una vez capturada la medida, encontrar el pico de la traza utilizando los cursores del analizador de espectro.

Paso 3:

Cambiar el modo de detección del analizador a *Average* para evitar distorsiones que puedan desvirtuar la medida:

Tabla 2.7: Configuración Paso 3 E.I.R.P.

| Frecuencia | Span | RBW | VBW | Detector | Trace Mode | Time |
|------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------|------------|--------|
| Centro del Canal | Suficiente para cubrir ancho canal | $\approx 10\%$ Canal | $\approx 10\%$ Canal | Average | Max Hold | 1 min. |

Capturar de nuevo el pulso y calcular el ancho de banda del canal (*bandwidth*), como el medido a 6 dB del pico máximo (calculado en el paso 2), haciendo uso de los marcadores.

Paso 4:

Configurar el analizador con los siguiente parámetros:

Tabla 2.8: Configuración Paso 4 E.I.R.P.

| Frecuencia | Span | RBW | VBW | Detector | Trace Mode | Time |
|-------------------|------|----------------------|----------------------|----------|------------|--------|
| f_{pk} (paso 2) | 0 | $\approx 10\%$ Canal | $\approx 10\%$ Canal | Average | Max Hold | 1 min. |

Cuando la medida haya finalizado encontrar el pico de la misma (tecla: MKR->\ Peak). El valor en dBm de ese punto es el parámetro A o potencia media.

Una vez realizada la prueba, se emplea la siguiente fórmula para el cálculo de la potencia equivalente:

$$EIRP = A + FA + 10 \cdot \log(BW/RBW) + 10 \cdot \log(1/x)$$

donde:

- A \equiv Potencia media medida en dBm
- FA \equiv Factor de Antena receptora
- BW \equiv Ancho de banda de la señal calculado en el paso 3.
- RBW \equiv Ancho de banda de resolución utilizado
- x \equiv Ciclo de trabajo = $t_{on}/(t_{on}+t_{off})$

Finalmente, se adjunta una tabla con los límites empleados en el ensayo:

Tabla 2.9: Límites EIRP

| CONDICIONES | CANALES | LÍMITE | MODULACIÓN |
|-------------|--|---------------------------------|--------------|
| NORMALES | SUPERIOR: f_{max} MEDIO: f_{med} INFERIOR: f_{min} | 20dBm (average) 23dBm (peak) | FHSS DSSS |

2.4.2 Máxima densidad espectral EIRP (*Maximum E.I.R.P. Spectral Density*)

En la medida de este parámetro se aplican los párrafos 4.3.2.2, 5.3.3 y 5.7.3.1 de la Norma, resumido a continuación.

Para realizar esta prueba, la Norma dispone de dos opciones:

1) Hacer uso de un analizador de espectro con detector de media y/o capacidad de medida del PSD. Para el caso concreto de este proyecto, se hizo uso de esta primera opción.

2) Emplear un analizador de espectro con un puerto de salida de del tipo *narrow IF*.

A continuación, se expone la secuencia de pasos para realizar la prueba. Al igual que el caso anterior, esta secuencia se realizará para tres canales: el de frecuencia máxima, el de frecuencia mínima y el de frecuencia media.

Paso 1:

La configuración del analizador de espectro será la siguiente:

Tabla 2.10: Configuración Paso 1 Maximum E.I.R.P. Spectral Density

| Frecuencia | Span | RBW | VBW | Detector | Trace Mode | Time |
|------------------|------------------------------------|--------|--------|----------|------------|------|
| Centro del Canal | Suficiente para cubrir ancho canal | 1 MHz. | 1 MHz. | Peak | Max Hold | - |

Paso 2:

Una vez capturada la medida, encontrar el pico de la traza utilizando los cursores del analizador y establecer dicha frecuencia f_{pk} como la central en el analizador.

Paso 3:

Configurar el analizador con los siguientes parámetros:

Tabla 2.11: Configuración Paso 3 Maximum E.I.R.P. Spectral Density

| Frecuencia | Span | RBW | VBW | Detector | Trace Mode | Time |
|-------------------|--------|--------|--------|----------|------------|----------|
| f_{pk} (paso 2) | 3 MHz. | 1 MHz. | 1 MHz. | Average | Max Hold | 1 minuto |

Cuando la medida haya finalizado encontrar el pico de la misma. El valor en dBm de ese punto es el parámetro D o máxima potencia media en un megahercio.

Una vez realizada la prueba, se emplea la siguiente fórmula para el cálculo de la máxima densidad espectral:

$$PD = D + FA + 10 \cdot \log(1/x) \quad (1)$$

donde:

- D \equiv Máxima potencia media (average) en dBm/MHz..
- FA \equiv Factor de Antena receptora
- x \equiv Ciclo de trabajo = $t_{on}/(t_{on}+t_{off})$

Finalmente, se adjunta una tabla con los límites empleados en el ensayo:

Tabla 2.12: Límites Máx. EIRP

| CONDICIONES | CANALES | LÍMITE | MODULACIÓN |
|-------------|--|------------------------------|------------|
| NORMALES | SUPERIOR: f_{max} MEDIO: f_{med} INFERIOR: f_{min} | 10dBm / MHz. 10 mW / MHz. | DSSS |

2.4.3 Rango de frecuencia (*Frequency Range*)

En la medida de este parámetro se aplican los párrafos 4.3.3.2, 5.3.3 y 5.7.4.1 de la Norma, que se resumen como se indica a continuación.

Al igual que en el caso de E.I.R.P., ésta prueba también debería ser realizada bajo condiciones normales y extremas de temperatura.

Además, para realizar esta prueba, la Norma dispone también, de dos opciones:

- Emplear un analizador de espectro con la opción de detector “Average”.
- Emplear un analizador de espectro con modo de media por video.

En este proyecto, se hizo suyo de la primera opción para la realización de este apartado

A continuación, se expone la secuencia de pasos para realizar la prueba. A diferencia de los cálculos anteriores, esta secuencia se realizará únicamente para dos canales: el de mayor frecuencia y el de frecuencia mínima.

Paso 1:

La configuración del analizador de espectro será la siguiente:

Tabla 2.13: Configuración Paso 1 Frequency Range

| Frecuencia | Span | RBW | VBW | Detector | Trace Mode | Time |
|------------------|------------------------------------|---------|---------|----------|------------|---------------|
| Centro del Canal | Suficiente para cubrir ancho canal | 100 KHz | 100 KHz | Average | Max Hold | ≥ 1 min. |

Paso 2:

Una vez capturada la medida, encontrar las frecuencias máxima y mínima del canal, definidas como aquellas a las que el nivel de potencia del canal desciende 30 dBm por debajo del pico máximo, como se puede observar en la siguiente figura. Para ello utilizar los marcadores del analizador (botón: MKR FCNT \ N dB DOWN).

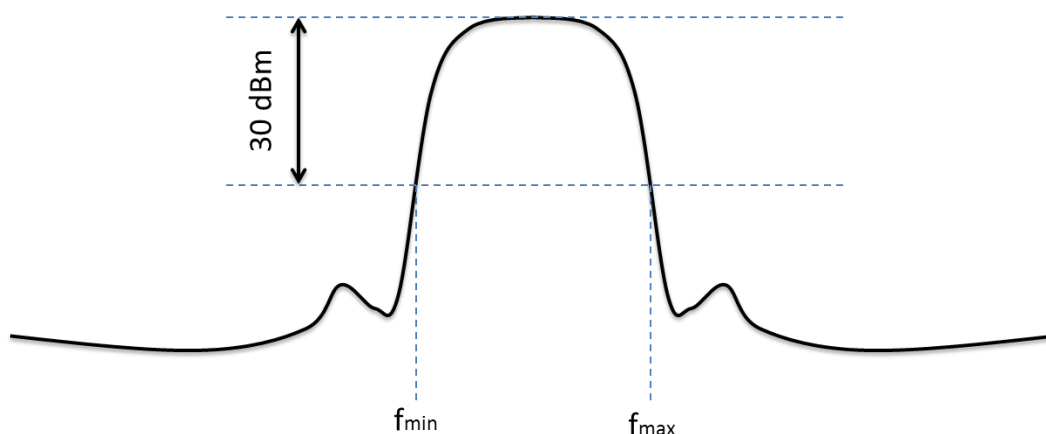


Figura 2.1: Determinación del rango de frecuencias

Tabla 2.14: Límites Frequency Range

| CONDICIONES | CANALES | LÍMITE | MODULACIÓN |
|-------------|--|-----------------------|--------------|
| NORMALES | SUPERIOR: f_{\max} INFERIOR: f_{\min} | 2.4 GHz 2.4835 GHz | FHSS DSSS |

2.4.4 Emisiones espurias transmitidas (*Transmitter Spurious Emissions*)

En la medida de este parámetro se aplican los párrafos 4.3.6, 5.3.3 y 5.7.5 de la Norma, los cuales se resumen a continuación.

Para la medida de las emisiones espurias, el valor máximo del rango de medición se encuentra limitado por el analizador de espectro empleado, el cual puede realizar medidas hasta un valor máximo de frecuencia de 3 GHz. Por esta razón, la medida abarcará desde el valor mínimo indicado por la Norma (30 MHz.), hasta el máximo valor que el analizador de espectro admite (3 GHz). Debido a la amplitud de este rango de medición, se hace necesario el uso de, al menos, dos antenas: una que

cubra el rango de baja frecuencias (desde 30 MHz. hasta 1 GHz) y otra que cubra el de altas frecuencias (desde 1 GHz hasta 3 GHz)

Los límites empleados en esta prueba se encuentran indicados en el apartado 2.2.5, visto en páginas anteriores.

A continuación, se expone la secuencia de pasos para realizar la prueba. Esta secuencia será realizada estando la potencia del equipo a su valor máximo y a su valor mínimo, en operación y en modo *standby* y, además, será realizado para dos canales: el de frecuencia máxima y el de frecuencia mínima.

Paso 1:

Configurar el analizador de espectro con los parámetros siguientes:

Tabla 2.15: Configuración Paso 1 Transmitter Spurious Emissions

| Frecuencia | Span | RBW | VBW | Detector | Trace Mode | Sweep Time | Reference Level |
|-------------------------------------|----------|---------|--------|----------|------------|------------|---------------------------|
| Barrer todo el rango de frecuencias | 100 MHz. | 100 KHz | 30 KHz | Max Peak | Max Hold | 1 s. | Middle Instrument's Range |

Paso 2:

Buscar con ayuda del analizador en todo el rango (30 MHz. – 12.75 GHz):

- emisiones que superen el límite
- emisiones que queden a 6 dB o menos del límite.

Paso 3:

Repetir las medidas correspondientes al caso b), modificando la configuración del analizador:

Tabla 2.16: Configuración Paso 3 Transmitter Spurious Emissions

| Frecuencia | Span | RBW | VBW | Detector | Trace Mode | Time |
|-------------------|------------|--------|--------|----------|------------|------|
| f_{pk} (caso b) | Suficiente | 30 KHz | 30 KHz | Max Peak | Max Hold | 1 s |

Se podrán dar dos casos según el espurio sea Wideband o Narrowband:

- 1) Espurio Narrowband → La nueva medida no varía más de 2 dB. Es decir:

$$V_0 - 2\text{dB} \leq V_{\text{nuevo}} \leq V_0 + 2\text{dB}$$

En este caso tan solo habrá que anotar el nuevo valor

- 2) Espurio Wideband → La nueva medida varía más de 2 dB. Es decir:

$$V_{\text{nuevo}} \geq V_0 + 2\text{dB} \text{ ó } V_{\text{nuevo}} \leq V_0 - 2\text{dB}$$

En este caso se deberá medir el espurio completo, documentando el método utilizado para su medida y grabar su valor.

Paso 4:

Comprobar que las medidas realizadas no son medidas fantasmas provocadas por la saturación del analizador. Para ello aumentar la atenuación de entrada del analizador; si el espurio desaparece éste será fantasma y deberá ser ignorado.

2.4.5 Emisiones espurias recibidas (*Receiver Spurious Emissions*)

En la medida de este parámetro se aplican los párrafos 4.3.7, 5.3.3 y 5.7.6 de la Norma, los cuales son resumidos a continuación.

Siempre que el EUT a testear lo permita, éste se configurará en modo receptor para poder realizar este apartado.

Los límites que no se deben superar en el ensayo se encuentran en el apartado 2.2.6, visto anteriormente.

La secuencia de pasos será la misma que para transmisión pero con el EUT en modo receptor.

Capítulo 3: Recursos empleados

3.1 Hardware

3.1.1 Set-up de pruebas

La configuración de los elementos empleados en el ensayo se ajusta a lo mostrado en la siguiente figura:

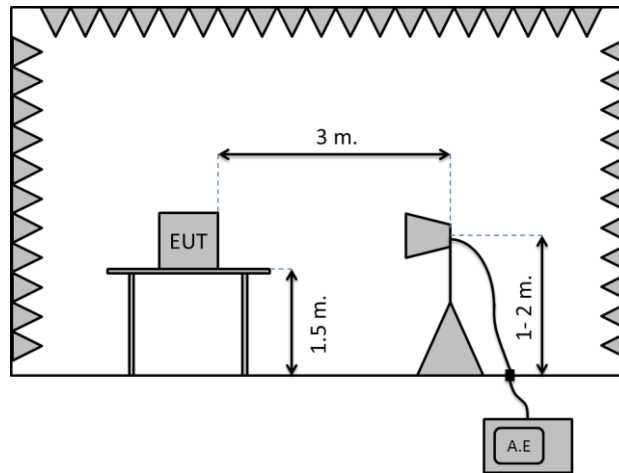


Figura 3.1: Test Set-Up para medidas radiadas

Tal como se puede apreciar en la figura, el equipo a ensayar debe estar situado a 1.5 metros de altura desde el suelo de la cámara y a 3 metros de la antena receptora. Tanto el equipo bajo prueba como la antena deben estar ubicados, al menos, a 50 centímetros de las paredes de la cámara y la altura de la antena se situará aproximadamente a la misma altura que el equipo bajo prueba, entre 1 y 2 metros. Un cable coaxial y apantallado llevará la señal de la antena al analizador de espectro a través de los conectores aislados que dispone la cámara anecoica.

3.1.2 Cámara anecoica

Una cámara anecoica (anecoica significa “*no eco*” o “*sin eco*”) es un espacio cerrado diseñado para impedir la reflexiones de, o bien sonido (cámara anecoica acústica), o bien, ondas electromagnéticas (cámara anecoica de radiofrecuencia). Además, desde el punto de vista electromagnético, la cámara se encuentra aislada del exterior, impidiendo con ello cualquier tipo de efecto producido por un campo electromagnético externo (concepto de Jaula de Faraday). La combinación de ambas características hace posible, entre otras acciones, el estudio de cualquier elemento generador de radiación electromagnética (un Router, en este caso), sin influencias ni del exterior ni de posibles reflexiones.

Existen dos tipos de cámaras anecoicas:

- Completas – Totalmente recubiertas, y por lo tanto, capaces de absorber en todas las direcciones del espacio.
- Semianecoicas - Recubiertas completamente excepto en el suelo.

Para el caso concreto de este PFC, se hizo uso de una cámara semianecoica de radiofrecuencia. El aspecto interno de este tipo de cámara es, en ocasiones, similar a la de una cámara anecoica acústica; no obstante, las superficies interiores de la primera están cubiertos con material absorbente de radiación en lugar de material acústicamente absorbente.

La cámara empleada se encuentra situada en el aula 1.1.I06 y permite medir perturbaciones radiadas según la norma EN 61000.4.3 para medidas de uniformidad de campo en el rango de frecuencias de 30 MHz. a 18 GHz.

Las características principales de la mencionada cámara pueden observarse en la siguiente tabla:

Tabla 3.1: Características principales cámara anecoica

| Parámetro | Valor |
|--------------------------------------|---|
| Dimensiones externas | 7,12 x 3,89 x 3,12 metros |
| Dimensiones puerta de entrada | 0,938 x 1,975 metros |
| Blindaje | Blindaje a radiación en paredes, suelo y techo |
| Paneles de penetración | Dos de 300 x 300 mm y 3mm de espesor |
| Filtros | 1 filtro trifásico 380V 30A (3P+N) 1 filtro DC 30A para corriente monofásica Filtro para líneas de Datos 1 filtro DC 300mA para línea telefónica analógica |
| Absorbentes | Absorbentes resistivos de espuma para microondas y combustión retardada, tipo Frankonia/SIDT PFT 500 |
| Atenuación | |
| Campo magnético | 10 KHz 60dB |
| | 200 KHz 80dB |
| | 1 MHz. 100dB |
| Onda plana eléctrica | 10 KHz a 100 MHz. 120dB |
| | 100 MHz. a 1 GHz 110dB |
| | 1 GHz a 18 GHz > 90dB |

3.1.3 Antena

Para la recepción de la energía electromagnética emitida por que el EUT, se empleó una de las dos siguiente antenas, dependiendo de del valor de la frecuencia medida.

Tabla 3.2: Antenas empleadas

| | | |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Antena | Logoperiódica Frankonia BTA-L | De bocina EATON 94623 |
| Rango de frecuencias | De 26 MHz. a 2 GHz. | De 1 GHz. a 3.6 GHz. |

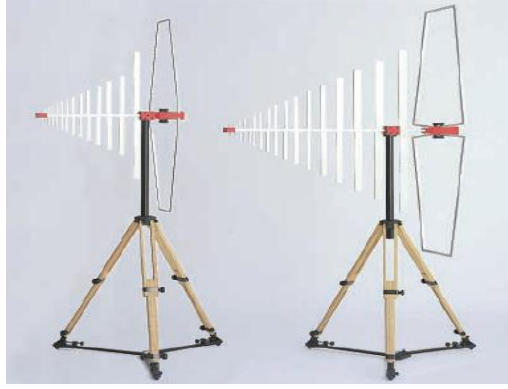


Figura 3.2: Antena de tipo logoperiódica Frankonia BTA-L

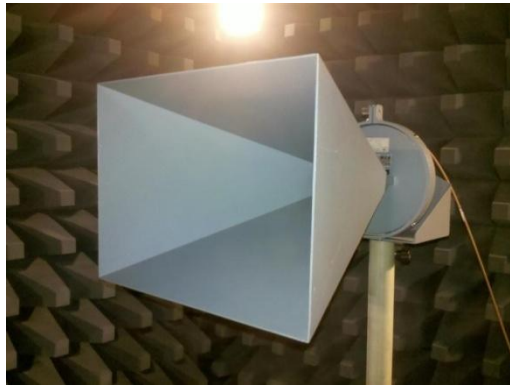


Figura 3.3: Antena de tipo bocina EATON 94623

Ambas antenas presentan un valor de Factor de Atenuación (FA) en función de la frecuencia, cuyos valores se muestran en las dos siguientes tablas, presentes en la siguiente página.

Tabla 3.3: Factor de atenuación antena logoperiódica Frankonia BTA-L

| Frecuencia (MHz) | FA (dB) | Frecuencia (MHz) | FA (dB) | Frecuencia (MHz) | FA (dB) | Frecuencia (MHz) | FA (dB) |
|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| 30 | 19.3 | 140 | 7.77 | 360 | 14.5 | 900 | 23.2 |
| 40 | 15.9 | 160 | 8.1 | 380 | 15 | 1000 | 23.7 |
| 50 | 11.1 | 180 | 9.35 | 400 | 16.4 | 1100 | 24.2 |
| 60 | 7.64 | 200 | 10.3 | 450 | 17.3 | 1200 | 24.9 |
| 70 | 5.89 | 220 | 11.1 | 500 | 17.3 | 1300 | 25.3 |
| 80 | 6.81 | 240 | 11.5 | 550 | 18.8 | 1400 | 25.9 |
| 90 | 7.06 | 260 | 12.6 | 600 | 19.6 | 1500 | 25.8 |
| 100 | 7.55 | 280 | 13 | 650 | 20.2 | 1600 | 26.8 |
| 110 | 7.24 | 300 | 13.7 | 700 | 20.8 | 1700 | 26.1 |
| 120 | 6.81 | 320 | 13.9 | 750 | 21.6 | 1800 | 26.7 |
| 130 | 8.19 | 340 | 14.5 | 800 | 21.9 | | |

Tabla 3.4: Factor de atenuación antena de bocina EATON 94623

| Frecuencia (MHz.) | FA (dB) | Frecuencia (MHz.) | FA (dB) |
|-------------------|---------|-------------------|---------|
| 1800 | 20.3 | 3000 | 20.9 |
| 2000 | 20.5 | 3500 | 21 |
| 2500 | 20.8 | 3600 | 21 |

3.1.4 Analizador de espectro

Un analizador de espectro es un equipo de medición electrónica que permite visualizar en una pantalla las componentes espectrales de las señales presentes en la entrada, siendo ésta una señal compleja

El analizador empleado en este proyecto es un receptor EMI (analizador de espectro calibrado para la relación de ensayos relacionados con EMI), concretamente el modelo *EMI Test Receiver R&S® ESCI* de la marca Rohde & Schwarz. Este receptor EMI cumple el CISPR 16-1-1 y todos los estándares civiles de EMC.

Las principales características del mencionado receptor son un rango de frecuencias de 9 KHz a 3 GHz y una resolución de frecuencia de 0.01 Hz.



Figura 3.4: EMI Test Receiver R&S® ESCI

Para más información sobre el analizador, puede consultarse su manual de usuario [7].

3.1.5 PC de control

Durante el proceso de automatización sobre el analizador de espectro, se hizo uso de un PC de sobremesa para poder controlar desde el mismo todo el proceso de verificación del equipo bajo prueba, cuyas características principales se enumeran a continuación:

Tabla 3.5: Características principales PC de control

| Parámetro | Valor |
|----------------------|---|
| Procesador | AMD Athlon™ 64 Processor 3200+ |
| Frecuencia del reloj | 2.01 GHz |
| Memoria RAM | 2 GB |
| Sistema operativo | Microsoft Windows XP Profesional Versión 2002 Service Pack 3 |

3.1.6 Canal de comunicación GPIB

El GPIB es un estándar bus de datos digital de corto rango, a través del cual dispositivos electrónicos interconectados pueden comunicarse.

Diseñado por Hewlett-Packard en 1965, bajo la denominación HP-IB, para interconectar y controlar su línea de instrumentos programables. Pronto empezó a ser usado en otras aplicaciones tales como comunicación entre ordenadores o control de periféricos, debido a su velocidad de transmisión de datos de 1 megabyte por segundo (MB/s). En 1978, el IEEE, lo estandarizó bajo el nombre de IEEE-488 (denominado hoy en día como 488.1).

Las 16 líneas que componen el bus están agrupadas en tres grupos de acuerdo con sus funciones: 8 líneas de bus de datos, 3 de bus de control de transferencia de datos y 5 de bus general. Algunas de estas líneas presentan retornos de corriente común y otras poseen un retorno propio, lo que aumenta el número de líneas totales hasta un total de 24, que se muestran en la figura siguiente. [8]

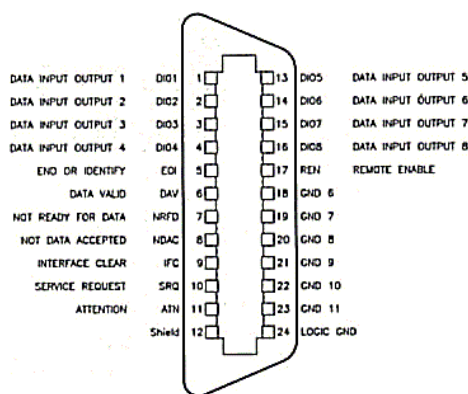


Figura 3.5: Patillaje del bus de conexión GPIB

El IEEE-488 permite que hasta 15 dispositivos compartan un bus paralelo de 8 bits, mediante una conexión en cadena, con el dispositivo más lento determinando la velocidad de transferencia. La velocidad máxima de transmisión es 1 MB/s siguiendo la norma original, y 8 MB/s según el estándar IEEE-488.1-2003 (originalmente denominado HS-488).

3.2 Software de control

3.2.1 LabVIEW

LabVIEW es un entorno de programación en el cual los programas son creados haciendo uso de un lenguaje de tipo gráfico, también denominado *lenguaje G*. Esto le hace diferenciarse de otros tipos de entorno de programación, como por ejemplo Java o C, en los que el lenguaje de programación es de tipo textual.

Los programas desarrollados en LabVIEW reciben la denominación de instrumentos virtuales (VIs). Cada VI consta de dos partes diferenciadas:

- Panel Frontal – Interfaz empleada por el usuario para interactuar en el VI. En esta parte de la VI se encuentran situados tanto los valores de entrada al VI (controles de entrada) como los valores de salida (indicadores de salida).

- Diagrama de Bloques – En esta parte del VI se encuentra situado el código fuente del programa, es decir, se trata de la parte ejecutable del programa, en donde se define las acciones a realizar. Todo elemento de entrada/salida presente en el panel frontal tiene su equivalente en el diagrama de bloques, produciéndose de esta forma la transferencia de datos entre ambas partes. [9]

Capítulo 4: Aplicación Wi-Fi 328 para prueba de Routers

4.1 Descripción general

La aplicación Wi-Fi 328 realiza un proceso de automatización y control el analizador de espectros EMI Test Receiver R&S® ESCI desde un PC mediante una conexión GPIB con el objetivo de la realización, de manera automática, de las pruebas indicadas en la Norma ETSI EN 300 328.

Para el desarrollo de esta aplicación se ha hecho uso de los drivers disponibles del mencionado analizador de espectro, los cuales permiten tanto la adquisición de los valores obtenidos por el analizador como la modificación de la configuración del mismo desde el PC de control.

La ejecución de la aplicación sigue el siguiente patrón: obtención de los datos iniciales requeridos, realización de las pruebas seleccionadas, siguiendo los pasos indicados en el apartado 2.4 del presente documento y presentación de los resultados obtenidos mediante el uso de documentos .txt y, en el caso de las dos últimas pruebas, en forma de hojas de cálculo.

4.2 Programa WIFI 328

4.2.1 Introducción

El control de la aplicación se realiza desde el VI denominado “*Panel de Control*”, seleccionando desde el mismo las pruebas a realizar, así como la configuración del analizador de espectro en determinados pasos durante la realización de las mismas.

Las distintas partes que componen el panel frontal del mencionado VI, agrupadas en torno a pestañas y que corresponden cada una a una prueba, se irán mostrando a lo largo de los próximos apartados.

Finalmente, en el apartado de anexos, se encuentra el manual de usuario del programa, en el cual se realiza una descripción detallada de los elementos presentes en el panel de la interfaz.

4.2.2 EIRP

La pestaña correspondiente a esta primera prueba presenta el siguiente aspecto:

The screenshot shows the EIRP configuration window. At the top, there's a title bar with 'EIRP' and an 'EJECUTAR' button. Below it are several tabs: 'EIRP', 'Maximun EIRP Spectral Density', 'Frequency Range', 'Transmitter Spurious Emissions', 'Receiver Spurious Emissions', and 'Resultados'. The 'EIRP' tab is selected. The main area is divided into four steps: Paso 1, Paso 2 (AUTOMÁTICO), Paso 3 (AUTOMÁTICO), and Paso 4. Paso 1 contains fields for 'Ciclo Trabajo' (set to 0), 'Canal', 'Frecuencia central (MHz)', 'Span (MHz)' (25), 'RBW' (1 MHz), 'VBW' (1 MHz), 'Max Peak', 'Max Hold', 'Reference level' (-10), and 'Ref. Lev. Standard -20 dBm'. Paso 2 and Paso 3 are labeled as automatic. Paso 4 contains fields for 'RBW' (1 MHz), 'VBW' (1 MHz), 'Average', 'Reference level' (-10), and 'Ref. Lev. Standard -20 dBm'. A button 'PRUEBA NO SELECCIONADA' is located at the bottom right.

Figura 4.1: Pestaña EIRP en el panel frontal

Tal como se puede observar en la imagen, en esta pestaña se introduce la configuración del analizador en los pasos 1 y 4 durante la realización de la prueba EIRP. Además, tal como se puede examinar en la figura anterior, los pasos intermedios 2 y 3 son automáticos y, por tanto, no requieren la introducción de ningún dato por parte del usuario. Asimismo, debe introducirse el valor del ciclo de trabajo de la onda en el recuadro diseñado para tal cometido.

Una vez introducidos los valores requeridos, y habiendo sido la mencionada prueba seleccionada, el programa llevará a cabo el siguiente proceso:

- 1) Paso 1² – Introducción de la configuración seleccionada en el citado paso.
- 2) El programa realizará una pausa de un minuto para permitir que el analizador de espectro pueda realizar una correcta captura de la señal recibida.
- 3) Paso 2 – Captura del valor de frecuencia del valor pico de potencia máximo de la señal capturada anteriormente (*frecuencia de pico*).
- 4) Paso 3 – Cambio del modo detector de “*Peak*” a “*Average*”
- 5) La aplicación realiza una nueva pausa de sesenta segundos
- 6) Se calcula el ancho de banda del canal, como la frecuencias situadas a 6 dB del pico máximo, haciendo uso del tipo de marcador disponible para este cometido.
- 7) Paso 4 - Introducción de la configuración seleccionada en el este paso, siendo el valor de frecuencia el calculado en el apartado 3.
- 8) Se lleva a cabo una nueva pausa de un minuto.
- 9) Se toma el valor de pico máximo de la señal recibida (parámetro A o potencia media).

² Paso n – Paso n mencionado en el procedimiento de medida (apartado 2.4)

10) Se calcula el valor de EIRP haciendo uso de la fórmula presente el apartado 2.4.1 y se da por finalizada la prueba.

Conviene mencionar que, en este apartado y siguientes, tras el uso de cualquier marcador, éste es desactivado, para evitar errores de medida y/o un uso excesivo e innecesario de la memoria del analizador, que podría derivar en una posible saturación del mismo, puesto que no es necesario el uso de más de un tipo de marcador a la vez.

Por otra parte, debe mencionarse los siguientes conceptos, los cuales son aplicables para éste y los dos siguientes apartados (4.2.3 y 4.2.4):

I) La introducción de la frecuencia en el paso 1 se realiza mediante la selección de canal, siendo obtenido el valor de la frecuencia correspondiente de manera automática por el propio programa. La equivalencia entre canal y frecuencia fue indicada en la introducción.

II) El valor del nivel de referencia de la pantalla del analizador (apartado “*Reference Level*” del panel frontal) puede ser seleccionado mediante dos opciones: valor standard de -20 dBm o, en el caso de que dicho botón no esté seleccionado, valor introducido numericamente.

Por último, debe mencionarse los valores de RBW, y de VBW en los casos correspondientes, seleccionables se encuentran limitados por los valores admitidos por el propio analizador, siendo éstos los siguientes: 10 Hz, 30 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 1 KHz, 3 KHz, 10 KHz, 30 KHz, 100 KHz, 300 KHz, 1 MHz. y 10 MHz..

4.2.3 Maximum EIRP Spectral Density

La segunda pestaña del panel frontal de la aplicación, correspondiente a la segunda de las pruebas recogidas en la Norma, presenta el siguiente aspecto

The screenshot displays the 'Maximum EIRP Spectral Density' configuration window. At the top, there is a title bar with the text 'Maximun EIRP Spectral Density' and an 'EJECUTAR' button. Below the title bar is a tabbed interface with five tabs: 'EIRP', 'Maximum EIRP Spectral Density' (which is the active tab), 'Frequency Range', 'Transmitter Spurious Emissions', and 'Receiver Spurious Emissions'. The main area is divided into three sections: 'Paso 1', 'Paso 2 (AUTOMÁTICO)', and 'Paso 3'. In 'Paso 1', there is a 'Ciclo Trabajo' field set to '0'. Below it, there are fields for 'Canal' (a dropdown menu), 'Frecuencia central (MHz)' (a text input), 'Span (MHz)' (a dropdown menu set to '20'), 'RBW' (a dropdown menu set to '1 MHz'), and 'VBW' (a dropdown menu set to '1 MHz'). There are also 'Max Peak' and 'Max Hold' buttons. A 'Reference level' section shows a value of '-10' and a button labeled 'Ref. Lev. Standard -20 dBm'. 'Paso 2 (AUTOMÁTICO)' is currently empty. 'Paso 3' contains fields for 'Span (MHz)' (set to '3'), 'RBW' (set to '1 MHz'), 'VBW' (set to '1 MHz'), and an 'Average' button. It also has a 'Reference level' section with a value of '-5' and a button labeled 'Ref. Lev. Standard -20 dBm'. At the bottom right, there is a button labeled 'PRUEBA NO SELECCIONADA'.

Figura 4.2: Pestaña Maximum EIRP Spectral Density en el panel frontal

Tal como se indicaba anteriormente, las aclaraciones indicadas en el apartado previo son aplicables a este apartado, al tratarse de dos pruebas con procedimientos muy similares.

Así mismo, el procedimiento a seguir por el programa es muy similar al del caso anterior:

- 1) Paso 1 – Introducción de la configuración seleccionada en el citado paso.
- 2) El programa realizará una pausa de un minuto para permitir que el analizador de espectro pueda realizar una correcta captura de la señal recibida.
- 3) Paso 2 – Captura del valor de frecuencia del pico máximo de la señal capturada anteriormente (*frecuencia de pico*).
- 4) Paso 4 - Introducción de la configuración seleccionada en el este paso, siendo el valor de frecuencia el obtenido en el paso anterior.
- 5) Se lleva a cabo una nueva pausa de un minuto.
- 6) Se toma el pico máxima de la señal recibida (parámetro D o máxima potencia media).
- 7) Se calcula el valor de Maximum EIRP Spectral Density haciendo uso de la fórmula presente el apartado 2.4.2 y se da por finalizada la prueba.

4.2.4 Frequency Range

El apartado correspondiente a la prueba tercera de la Norma se muestra en la siguiente figura.

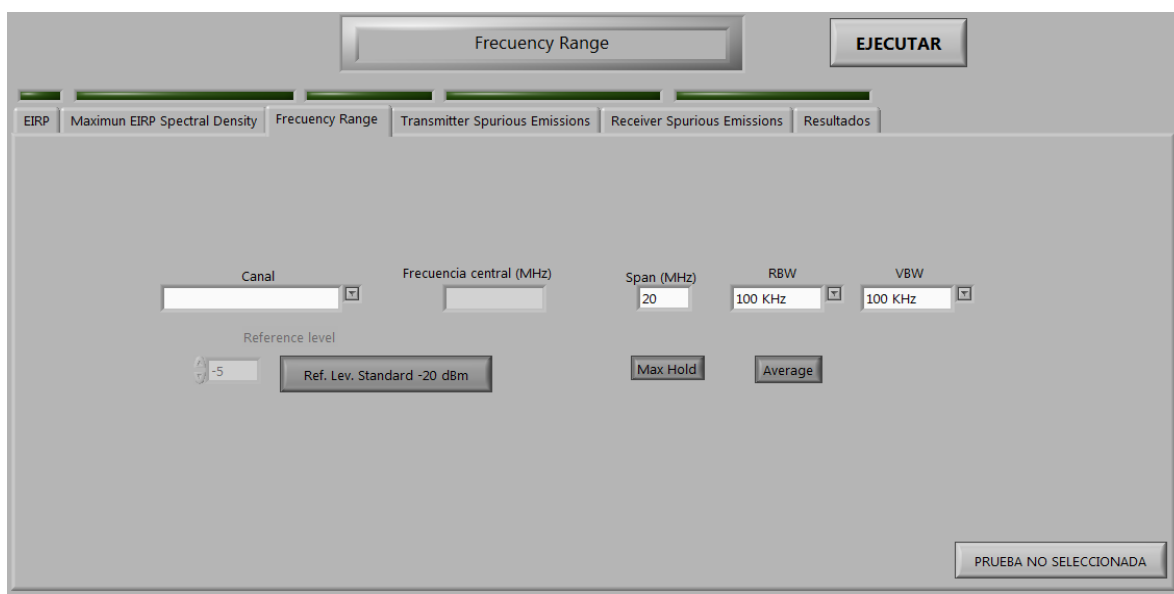


Figura 4.3: Pestaña Frequency Range en el panel frontal

En este apartado conviene mencionar que los únicos canales seleccionables son el primero y el último (canal 13), puesto que la prueba solo se debe realizar para estas dos frecuencias, siendo innecesaria la posibilidad de seleccionar los canales restantes.

El procedimiento que lleva a cabo el programa en este apartado se detalla a continuación:

- 1) Paso 1 – Introducción de la configuración seleccionada en el citado paso.
- 2) El programa realizará una pausa de un minuto para permitir que el analizador de espectro pueda realizar una correcta captura de la señal recibida.
- 3) Paso 2 - Se calcula el ancho de banda del canal, como las frecuencias situadas a 30 dB del pico máximo, haciendo uso de un tipo de marcador específico disponible para este cometido.

4.2.5 Transmitter Spurious Emissions

El aspecto que presenta este apartado y el siguiente son muy similares, puesto que ambas pruebas presentan un procedimiento prácticamente idéntico.

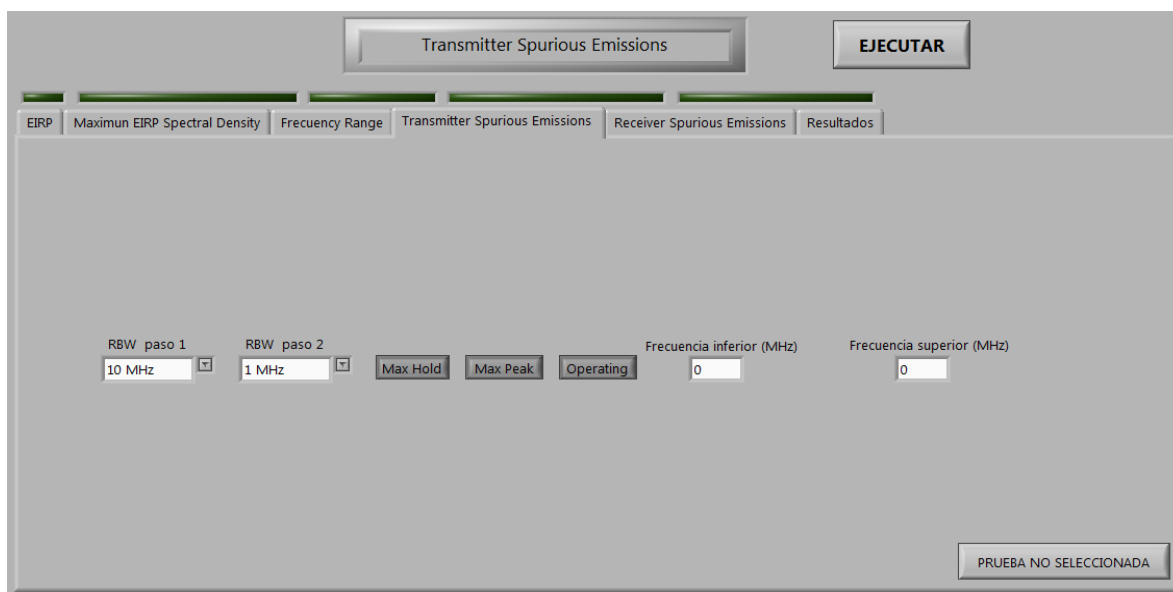


Figura 4.4: Pestaña Transmitter Spurious Emissions en el panel frontal

En primer lugar, conviene mencionar que, si bien en los tres apartados anteriores el analizador se encuentra funcionando en modo analizador, si este apartado, o el siguiente, en el supuesto de que fueran seleccionados, el analizador pasaría a trabajar en modo receptor.

Asimismo, se debe indicar que estas dos últimas pruebas presentan dos pasos iniciales adicionales a los referidos en la Norma, puesto que debido a la amplitud del rango de frecuencias a analizar (desde 30 MHz. a 3 GHz) se hace necesario dos pasos previos con un valor de RBW mayor.

Estos pasos adicionales se hacen necesarios puesto que en el paso 1 indicado por la norma se realiza un análisis (también denominado “barrido”) inicial de todos los valores de frecuencia³ presentes entre las frecuencias inicial y final de análisis, con una distancia entre puntos consecutivos de valor la mitad del valor de RBW, es decir para el caso concreto entre los 30 MHz. iniciales y los 3 GHz de valor final, con una resolución

³ En adelante, también denominados indistintamente puntos

de 100 KHz, tal y como se menciona en la Norma, el número de puntos a analizar sería de:

$$N^{\circ} \text{ de puntos} = \frac{(3 \cdot 10^9 - 30 \cdot 10^6) \text{ Hz}}{100 \cdot 10^3 \text{ Hz/2}} = 14850 \text{ puntos},$$

lo cual supondría un tiempo de análisis muy elevado, teniendo presente que el programa se detiene un segundo en cada punto para una correcta medición de la potencia, lo que supondría que el programa tarda un mínimo de 14850 segundos en realizar este primer análisis, es decir cuatro horas y quince minutos. Ahora bien, si escogemos una RBW de valor 10 MHz., el número de puntos a estudiar se reduce drásticamente:

$$N^{\circ} \text{ de puntos} = \frac{(3 \cdot 10^9 - 30 \cdot 10^6) \text{ Hz}}{10 \cdot 10^6 \text{ Hz/2}} = 594 \text{ puntos},$$

valor que, pese a ser elevado, permite la realización de un primer análisis, en el cual son descartados gran parte de los valores de frecuencia a analizar, en un tiempo admisible.

Por esta razón primero se realizan dos “barridos” con una RBW elevada, para después proceder a un análisis más exhaustivo de los puntos a estudiar.

El procedimiento a realizar por el programa es más complicado y largo que en los casos anteriormente descritos:

- 1) Puesta en modo receptor del analizador de espectro.
- 2) Carga de la configuración indicada en la Norma, con el valor RBW seleccionado para el paso 1.
- 3) Analizado de todos los puntos presentes en el rango de frecuencias con un *step-size* de valor la mitad del RBW seleccionado en este paso. Se almacenan tanto todos los valores de frecuencia analizados junto con su valor de potencia, como aquellos cuyo valor de potencia cumplan alguna de las dos condiciones del paso 2 (supera límite o está a una distancia de 6 dB o menos del mismo). Tal como se mencionaba anteriormente, en cada punto, el analizador se detiene un segundo.
- 4) Carga de la configuración indicada en la Norma, con el valor RBW seleccionado para el paso 2.
- 5) Analizado de todos los puntos a estudiar obtenidos en el apartado 3), siendo esta frecuencia el valor central y siendo el ancho de banda del rango de frecuencias a analizar el valor de resolución empleado en el paso anterior⁴. El “barrido” se realizará con un *step-size* de valor la mitad del RBW seleccionado en este paso. Se almacenan, en forma de tablas, tanto los valores de frecuencia analizados, como aquellos cuyo valor de potencia cumplan alguna de las dos condiciones del paso 2 (supera límite o está a una distancia de 6 dB o menos del mismo). En cada valor de frecuencia, el analizador se detiene un segundo, para permitir una correcta medida. Al igual que en el caso del paso 3), en cada punto, el analizador se detiene un segundo.
- 6) Carga de la configuración indicada en la Norma (Paso 1), con el valor RBW de 100 KHz.
- 7) Mismo procedimiento que paso 5). Como en los casos anteriores, el analizador se detiene un segundo en cada valor de frecuencia.

⁴ Por ejemplo, si un punto analizado tuviera de valor de frecuencia 50 MHz. y la resolución fue de 10 MHz., el barrido se realizará desde los 45 MHz. hasta los 55 MHz.

8) Carga de la configuración indicada en la Norma (Paso 3), con el valor RBW de 100 KHz.

9) Analizado de todos los puntos a estudiar obtenidos del apartado 7) y clasificación de los mismos según criterio de la Norma (Paso 3).

10) Se incrementa la atenuación de la señal de entrada hasta un valor de 20 dB (inicialmente las medidas se han hecho con una atenuación de 10 dB) y se mide la potencia de todos los puntos estudiados en el paso anterior.

11) Se da por finalizada la prueba y manualmente se comparan los puntos obtenidos en los apartados 9) y 10) para determinar si los espurios medidos son fantasmas, es decir, si al aumentar la atenuación de entrada, el valor de potencia disminuye drásticamente.

4.2.6 Receiver Spurious Emissions

Tal como indicaba anteriormente, el aspecto de esta pestaña es muy similar al anterior.

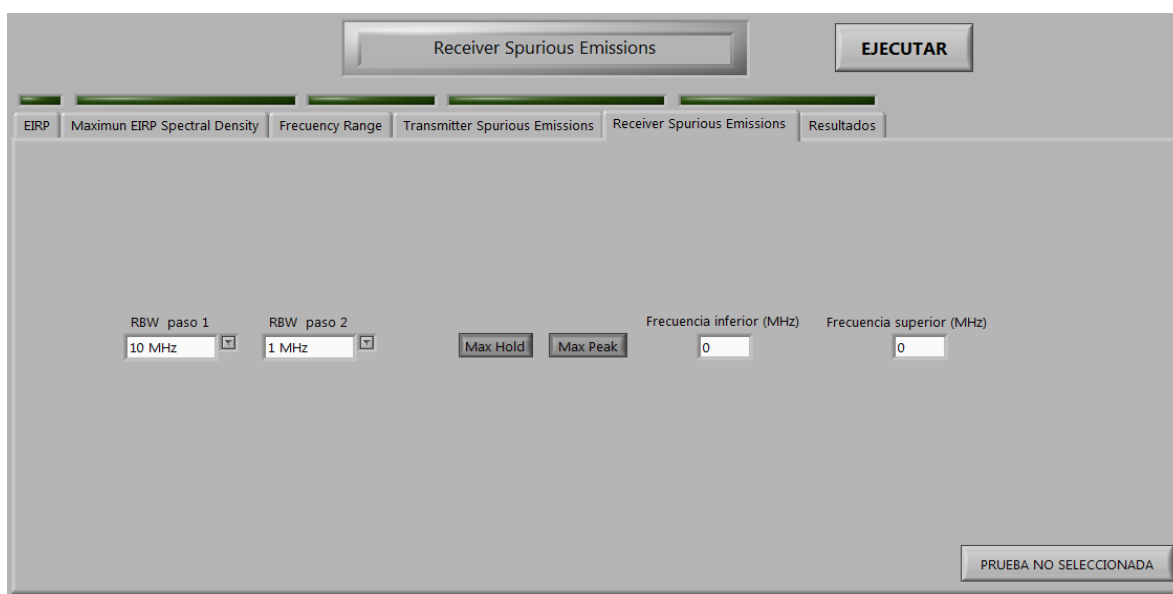


Figura 4.5: Pestaña Receiver Spurious Emissions en el panel frontal

Mismo procedimiento y especificaciones que en el apartado anterior, con la salvedad de que el EUT debe colocarse en modo receptor.

4.2.7 Resultados

La pestaña de resultados del panel frontal presenta el siguiente aspecto:

The screenshot shows the 'Resultados' tab selected in a multi-tabbed interface. At the top, there is a 'Resultados' button and an 'EJECUTAR' (Execute) button. Below the tabs, there are three input fields: 'Ubicación Informe' (Report Location), 'Nombre prueba' (Test Name), and 'Datos adicionales' (Additional Data). The 'Ubicación Informe' field has a file explorer icon on the right. The 'Datos adicionales' field is a large text area.

Figura 4.6: Pestaña Resultados

En esta pestaña se indica la ubicación deseada de los documentos generados durante la prueba, así como el nombre de los mismos y cualquier tipo de información adicional que deba acompañar a dichos resultados en el documento.

Además, en la parte inferior del interfaz se encuentran los elementos de control “Factor de Antena”, “Conexión A. Espectro” y “Error de comando”, cuya función se explica detalladamente en el manual de usuario presente en el anexo.

The screenshot shows the bottom part of the software interface. It includes a 'Factor de Antena' (Antenna Factor) input field with a file explorer icon. To the right are logos for 'GSEP' and 'UC3M'. Below these, there are three control elements: 'Error de comando' (Command Error) with a status indicator (a green checkmark in a box) and a 'code' field; 'Conexión A. Espectro' (Spectrum A. Connection) with a dropdown menu; and a 'source' field with a list box.

Figura 4.7: Parte inferior del panel frontal

4.2.8 VIs complementarios

Las VIs a continuación comentadas, y ordenadas por orden alfabético, no se muestran durante la ejecución del programa, pero se han incluido en esta memoria para un mayor y más amplio conocimiento del programa

1. *Configuraciones*

VI empleada para la configuración del dispositivo cuando se encuentra en modo analizador.

2. *Configuraciones (espurias)*

VI utilizada para la configuración del dispositivo cuando se encuentra en modo receptor.

3. *Constructor tablas*

VI destinada a generar hojas de cálculo a partir de los resultados obtenidos en las pruebas *Transmitter Spurious Emissions* y *Receiver Spurious Emissions*.

4. *Detector intervalos*

VI cuya función es la de detectar, en las dos últimas pruebas del programa, frecuencias consecutivas y, de esta manera, evitar estudios reiterados de una misma frecuencia, puesto que si dos frecuencias a estudiar son consecutivas (la distancia entre ellas es la mitad del RBW cuando fueron detectados) al ser estudiadas por separado, al ser su distancia la mitad del ancho de banda del rango a estudiar, las frecuencias situadas entre ambos valores serán estudiados dos veces, hecho que acarrearía una duración excesiva de la prueba.

5. *FA*

VI desarrollada para la obtención del valor del factor de antena en función del valor de frecuencia a partir de tablas en formato .txt.

6. *Gestor arrays (FA)*

VI empleada en la anterior VI para la obtención de los datos de las tablas de factor de atenuación en dos vectores: uno con los valores de factor de atenuación y otro con los valores de frecuencia.

7. *Gestor configuraciones I, II y III*

VI cuya utilidad es la de convertir los datos de configuración de las diversas pruebas en una cadena de caracteres. La existencia de tres VIs con una misma función es debido a las diferentes configuraciones para cada prueba, siendo la versión I para las dos primeras pruebas (*EIRP* y *Maximum E.I.R.P. spectral density*), la versión II para la tercera (*Frequency Range*) y la versión III para las dos últimas pruebas.

8. *Gestor direcciones*

VI empleada en la generación de las direcciones de las hojas de cálculo generadas en las últimas pruebas del programa (*Transmitter* y *Receiver Spurious Emissions*).

9. *Gestor direcciones archivo de texto*

VI con una función similar a la anterior, generar las direcciones de los archivos de texto generadas por cada una de las pruebas, en las cuales aparecen tanto la configuración empleada como los resultados obtenidos en el caso de las tres primeras pruebas.

10. *Gestor limites (transmitter spurious)*

VI con la función básica de determinar el valor máximo de potencia, en función de valor de frecuencia introducido, en la prueba *Transmitter Spurious Emissions*.

11. *Gestor limites (receiver spurious)*

VI con igual cometido que el caso anterior, con la salvedad de ser empleada durante la prueba *Receiver Spurious Emissions*.

12. *RSESCI Display UPD*

VI cuyo cometido es el de enviar un comando al analizador de espectro, para la activación de la pantalla del mismo cuando éste pasa a modo control remoto. En caso de no pasarle dicho comando, el analizador queda en modo ahorro de energía y, entre otras funciones, la toma de datos es omitida.

Capítulo 5: Validación y pruebas

5.1 Validación del software Wi-Fi 328

Para la validación del software Wi-Fi 328 se procedió de la siguiente forma:

1) En el caso de las tres primeras pruebas (*E.I.R.P.*, *Maximum E.I.R.P.*, *Spectral Density* y *Frequency Range*) se hicieron medidas manuales sobre un Router Wi-Fi para, a continuación, realizar nuevas medidas, haciendo uso de la aplicación Wi-Fi 328, sobre el mismo Router y una vez tomadas todas las medidas se procedió a la comparación de resultados.

2) En el caso de las medidas espurias, debido a que la realización de manera totalmente manual de las dos pruebas suponía un coste en tiempo inasumible, se realizó las medidas con un programa, denominado EMC32, diseñado por Rohde-Schwarz (misma empresa diseñador del analizador de espectro) para la automatización del propio equipo de medida y se compararon los resultados obtenidos con los generados por el programa diseñado para este PFC. Además debido a la no disponibilidad de un Router con la opción de configuración en modo receptor y teniendo presente que ambas pruebas únicamente difieren en los valores límites, se extrapoló los resultados de la verificación de la primera prueba de espurios (*Transmitter Spurious Emissions*) a la segunda (*Receiver Spurious Emissions*).

1. *E.I.R.P.*

Tabla 5.1: Medida manual

| Configuración | | | | |
|-------------------------|----------------------|-------------------|---------|--------------------------|
| Paso 1 | | | | |
| Frecuencia | 2472 MHz. (Canal 13) | Span | 25 MHz. | <i>Detector Max Peak</i> |
| RBW | 1 MHz. | VBW | 1 MHz. | <i>Max Hold</i> |
| Paso 3 | | | | |
| Detector Average | | | | |
| Paso 4 | | | | |
| Frecuencia | 2473.05 MHz. | Span | 0 MHz. | <i>Detector Average</i> |
| RBW | 1 MHz. | VBW | 1 MHz. | <i>Max Hold</i> |
| Resultados | | | | |
| Paso 3 | | BW = 8.45 MHz. | | |
| Paso 4 | | A = -28.94 dBm | | |
| FA | | 20,7832 dB | | |
| Ciclo de trabajo | | 0.3 | | |
| EIRP | | 6.3422 dBm | | |

Tabla 5.2: Medida con el programa

| Configuración | | | | |
|-------------------------|----------------------|------------------|---------|--------------------------|
| Paso 1 | | | | |
| Frecuencia | 2472 MHz. (Canal 13) | Span | 25 MHz. | <i>Detector Max Peak</i> |
| RBW | 1 MHz. | VBW | 1 MHz. | <i>Max Hold</i> |
| Paso 3 | | | | |
| Detector Average | | | | |
| Paso 4 | | | | |
| Frecuencia | 2473.05 MHz. | Span | 0 MHz. | <i>Detector Average</i> |
| RBW | 1 MHz. | VBW | 1 MHz. | <i>Max Hold</i> |
| Resultados | | | | |
| Paso 3 | | BW = 8.3 MHz. | | |
| Paso 4 | | A = -28.97 dBm | | |
| FA | | 20.783 dB | | |
| Ciclo de trabajo | | 0.3 | | |
| EIRP | | 6.233 dBm | | |

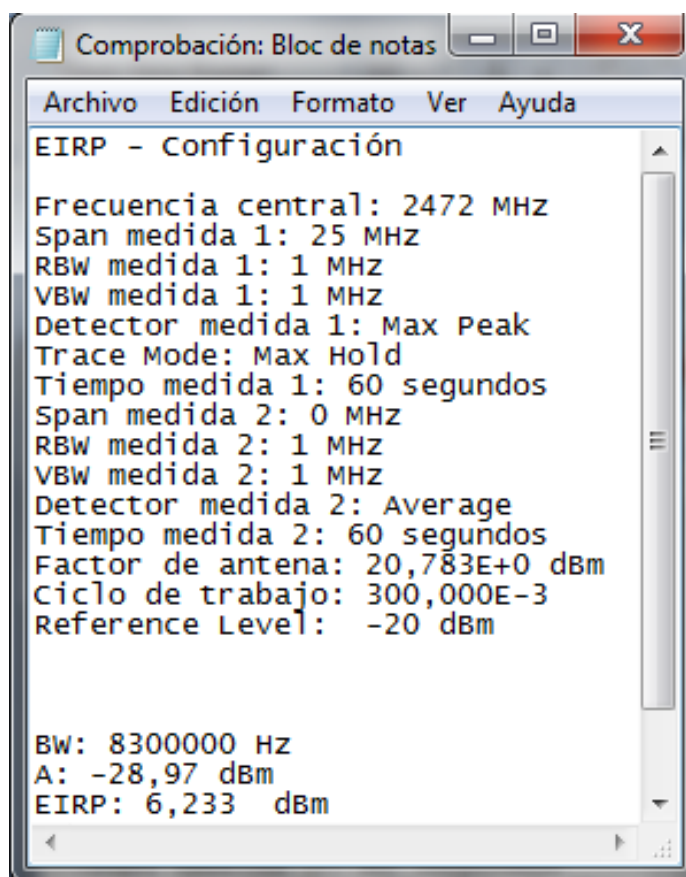


Figura 5.1: Archivo generado por el programa

Validación de la prueba: **Resultado válido** / Resultado no válido

2. Maximum E.I.R.P. Spectral Density

Tabla 5.3: Medida manual

| Configuración | | | | |
|--|----------------------|-------------------------|---------|--------------------------|
| Paso 1 | | | | |
| Frecuencia | 2472 MHz. (Canal 13) | Span | 25 MHz. | <i>Detector Max Peak</i> |
| RBW | 1 MHz. | VBW | 1 MHz. | <i>Max Hold</i> |
| Paso 3 | | | | |
| Frecuencia | 2473 MHz. | Span | 3 MHz. | <i>Detector Average</i> |
| RBW | 1 MHz. | VBW | 1 MHz. | <i>Max Hold</i> |
| Resultados | | | | |
| Paso 3 | | D = -28.6 dBm/MHz. | | |
| FA | | 20.7832 dB | | |
| Ciclo de trabajo | | 0.3 | | |
| Maximum E.I.R.P. Spectral Density | | -2.5868 dBm/MHz. | | |

Tabla 5.4: Medida con el programa

| Configuración | | | | |
|--|----------------------|-----------------------|---------|--------------------------|
| Paso 1 | | | | |
| Frecuencia | 2472 MHz. (Canal 13) | Span | 25 MHz. | <i>Detector Max Peak</i> |
| RBW | 1 MHz. | VBW | 1 MHz. | <i>Max Hold</i> |
| Paso 3 | | | | |
| Frecuencia | 2473 MHz. | Span | 3 MHz. | <i>Detector Average</i> |
| RBW | 1 MHz. | VBW | 1 MHz. | <i>Max Hold</i> |
| Resultados | | | | |
| Paso 3 | | D = -29.84 dBm/MHz. | | |
| FA | | 20.783 dB | | |
| Ciclo de trabajo | | 0.3 | | |
| Maximum E.I.R.P. Spectral Density | | -3.83 dBm/MHz. | | |

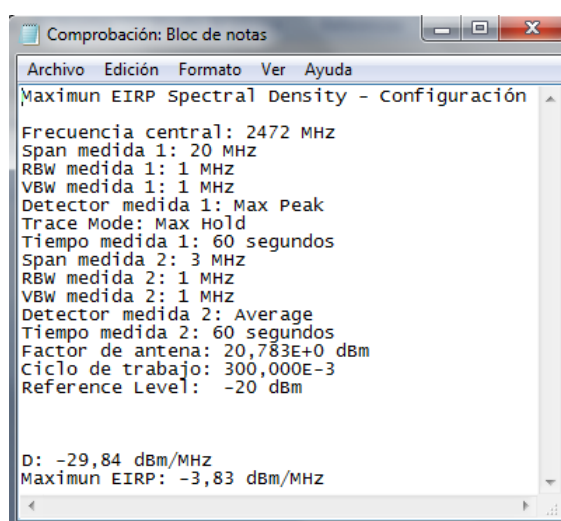


Figura 5.2: Archivo generado por el programa

Validación de la prueba: **Resultado válido** / Resultado no válido

3. Frequency Range

Tabla 5.5: Medida manual

| Configuración | | | | |
|-------------------|----------------------|-------------|---------|-------------------------|
| Paso 1 | | | | |
| Frecuencia | 2472 MHz. (Canal 12) | Span | 25 MHz. | <i>Detector Average</i> |
| RBW | 100 KHz | VBW | 100 KHz | <i>Max Hold</i> |
| Resultados | | | | |
| f_{\min} | | 2465.2 MHz. | | |
| f_{\max} | | 2478.8 MHz. | | |

Tabla 5.6: Medida con el programa

| Configuración | | | | |
|-------------------|----------------------|--------------|---------|-------------------------|
| Paso 1 | | | | |
| Frecuencia | 2472 MHz. (Canal 12) | Span | 25 MHz. | <i>Detector Average</i> |
| RBW | 100 KHz | VBW | 100 KHz | <i>Max Hold</i> |
| Resultados | | | | |
| f_{\min} | | 2466.72 MHz. | | |
| f_{\max} | | 2477.32 MHz. | | |

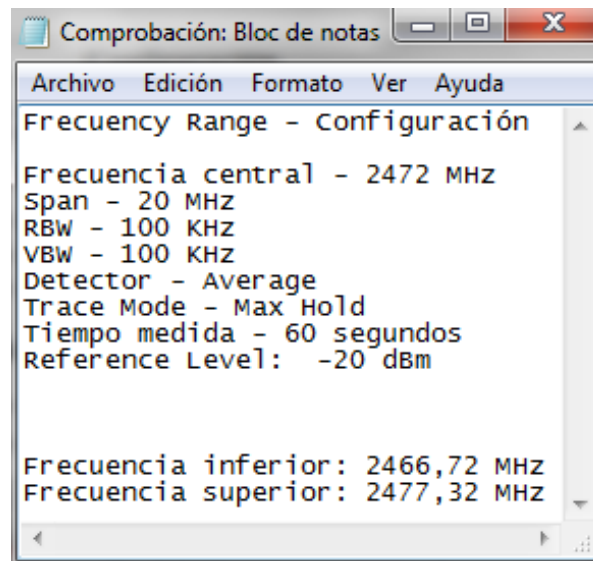


Figura 5.3: Archivo generado por el programa

Validación de la prueba: **Resultado válido** / Resultado no válido

4. Transmitter Spurious Emissions

En primer lugar, debido a la gran amplitud del espectro de frecuencias a medir en esta prueba, para la validación de la misma se procedió a medir en el entorno del rango de frecuencias de los canales disponibles WLAN en la banda 2.4 GHz., siendo el rango de frecuencias de 2.4 GHz a 2.5 GHz. Por otra parte, las medidas fueron realizadas con el Router en modo *Operating*.

Medida empleando programa EMC32

Las medidas hechas con este programa fueron realizadas en unidades de dB μ V (con un valor de Z de 50 Ω) y que las dos marcas presentes en las gráficas son el límite para ese rango (marca roja) y el valor situado a 6 dB de dicho límite (marca discontinua), estando ambos valores en dB μ V.

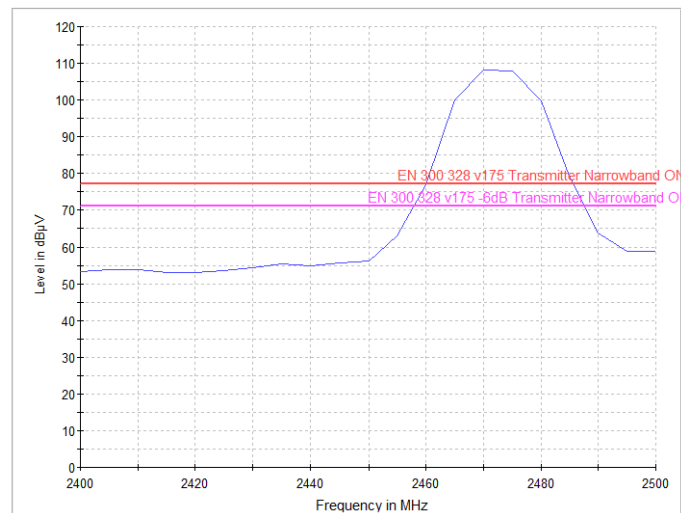


Figura 5.4: Gráfica obtenida paso 1

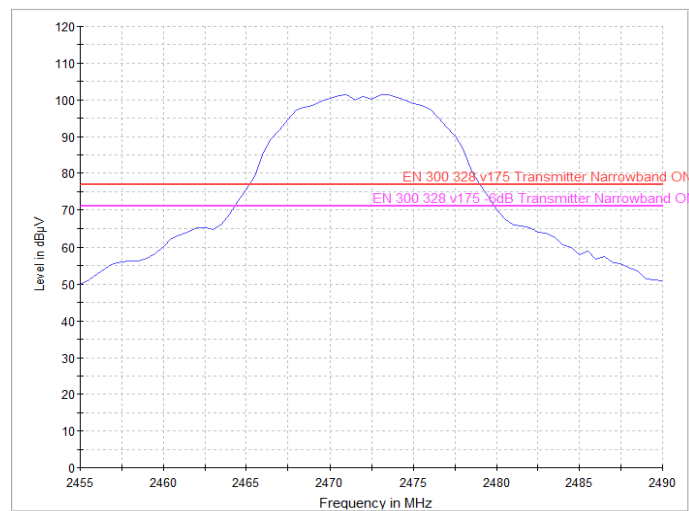


Figura 5.5: Gráfica obtenida paso 2

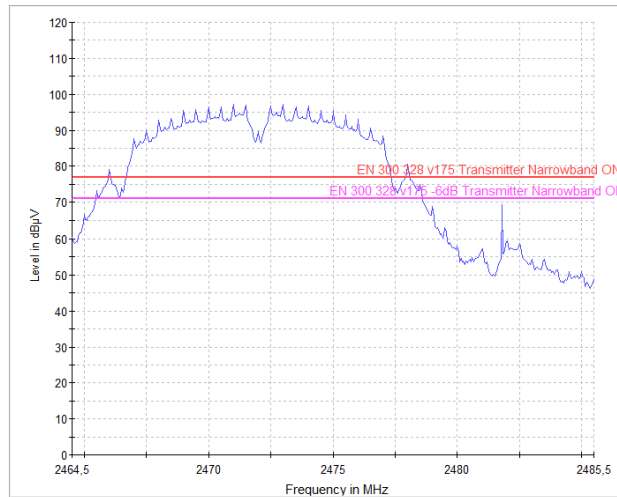


Figura 5.6: Gráfica obtenida paso 3

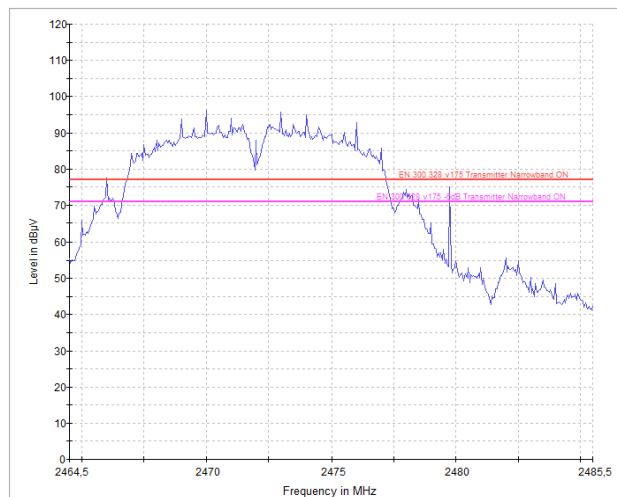


Figura 5.7: Gráfica obtenida paso 4

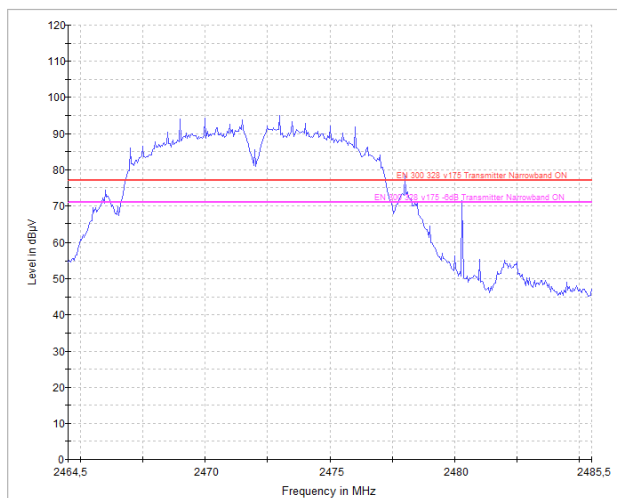


Figura 5.8: Gráfica obtenida paso 5

Medida empleando aplicación Wi-Fi 328

Tabla 5.7: Medida con el programa

| Configuración | | |
|----------------------|------------------|-------------------|
| Paso 1 | | |
| Rango de frecuencias | 2400 - 2500 MHz. | Detector Max Peak |
| RBW | 10 MHz. | Max Hold |
| Paso 2 | | |
| RBW | 1 MHz. | Detector Max Peak |
| | | Max Hold |
| Paso 3 | | |
| RBW | 100 KHz | Detector Max Peak |
| | | Max Hold |
| Paso 4 | | |
| RBW | 30 KHz | Detector Max Peak |
| | | Max Hold |
| Paso 5 | | |
| ΔAtenuación | 10 dB | |

Los resultados obtenidos en cada uno de los pasos de esta prueba se muestran en el anexo III en forma de tablas, para facilitar la lectura del presente documento.

Tal como se puede apreciar en la tabla 1 del citado anexo, el rango de frecuencias a estudiar en el siguiente paso será desde 2.455 GHz (valor de frecuencia anterior a la primera frecuencia cuya potencia supera el límite) a 2.495 GHz (valor de frecuencia posterior a la última frecuencia cuya potencia supera el límite). En este mismo anexo, puede observarse que el rango de frecuencias estudiado en el paso 2 coincide con el rango deducido de los resultados del paso 1. A la vista de los resultados obtenidos en este paso, el rango de valores a estudiar en el siguiente paso estaría situado entre 2.464 GHz y 2.4805 GHz, debido a las mismas explicaciones dadas en el paso anterior. Continuando el estudio de los datos presentes en el anexo, puede observarse que el rango de frecuencias analizado durante en el tercer paso coincide con el rango que se desprende de los resultados del paso anterior.

En la tabla 3.2 del anexo 3, se muestran las frecuencias cuya potencia, o bien superó el límite o bien su valor se encontraba a menos de 6 dB del mencionado límite. A su vez se indica que puntos serían estudiados en el siguiente paso (condición b del paso 2 en el apartado 2.4.4). Se puede observar que las frecuencias estudiadas en el punto 4 han sido las mismas señaladas para su posterior estudio en la tabla 3.2, anteriormente mencionada. Además, a la vista de los resultados se puede observar que el programa hace una correcta clasificación de los puntos, según el criterio indicado en el paso 3 en el apartado 2.4.4 del presente documento.

Se puede observar que las frecuencias analizadas en el último punto han sido las mismas que las analizadas en el paso 4.

A la vista de los resultados se puede observar que el programa realiza las acciones indicadas en el apartado 4.2.5 y obtiene unos resultados muy similares a los obtenidos por el programa EMC32.

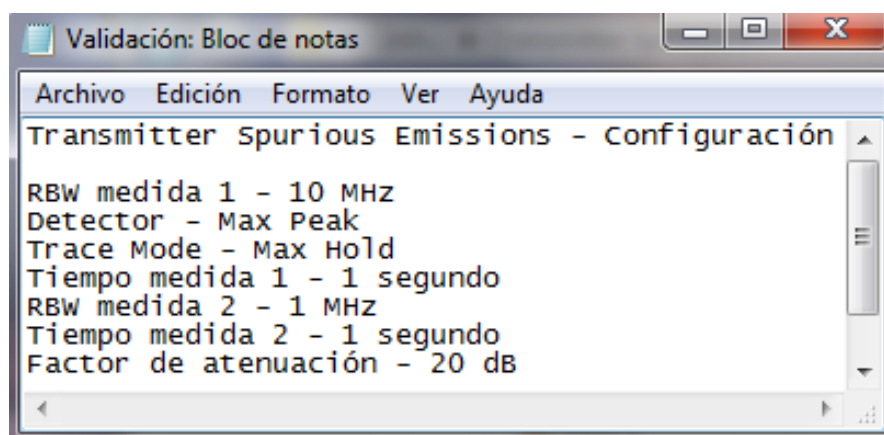


Figura 5.9: Archivo generado por el programa

Validación de la prueba: **Resultado válido** / Resultado no válido

5. Receiver Spurious Emissions

Tal como se indicó anteriormente, al no disponer de un Router Wi-Fi con la opción de configuración en modo receptor, se considera válida esta parte del programa como extrapolación de la validez del anterior apartado, al tratarse de dos pruebas casi idénticas, diferenciándose únicamente en los valores límite.

6. Conclusión

A la vista de los resultados obtenidos, podemos afirmar que el programa obtiene unos resultados similares a los obtenidos por otros medios (manual o mediante el uso de programas ya validados), por lo cual los valores obtenidos mediante el uso de la aplicación Wi-Fi 328 son perfectamente válidos.

5.2 Pruebas sobre Routers comerciales

Tras la validación del programa, realizada en el anterior apartado se procedió a realizar las pruebas indicadas en la Norma sobre un conjunto de tres Routers comerciales. Desgraciadamente, debido a la escasa disponibilidad de estos equipos, puesto que los tres habían sido prestados bajo la condición de su devolución a la mayor brevedad posible, solo se pudieron realizar sobre los mismos las tres primeras pruebas, siendo escogida esta opción en virtud a la brevedad de las mismas, quedando pendientes las pruebas restantes.

Debe indicarse que los conceptos de polarización vertical y horizontal corresponden a la posición de la antena de tipo bocina EATON 94623, debido a que los valores medidos difieren en función del tipo de polarización, siendo polarización

horizontal cuando la parte de mayor longitud de la bocina se encuentre en paralelo al suelo y vertical en la situación restante.

Los equipos sobre los cuales se efectuaron las pruebas fueron los siguientes: el modelo *Teldat i-Router* de Movistar y los modelos de Orange *LiveBox ARV7519RW22-A-LT* y *LiveBox Refresh 2 Sp Rev-2*.

5.2.1 Movistar Teldat i-Router

La primera prueba que se realizó sobre este dispositivo fue el cálculo de su ciclo de trabajo. Si bien dicho cálculo fue realizado con un dispositivo ajeno a este PFC, se ha incluido dicha prueba y sus resultados en este documento debido a que es uno de los valores de entrada en las dos primeras pruebas a realizar. Los resultados obtenidos y las condiciones presentes durante las pruebas realizadas sobre este Router se muestran a continuación.

0. Ciclo de trabajo

Para el cálculo del ciclo de trabajo se hizo uso de un osciloscopio de alta frecuencia, concretamente el modelo Tektronix MSO4104. El valor de ciclo de trabajo obtenido es 0.026, valor que sería equivalente en tanto por ciento al 2,6%.

A continuación se muestra la señal captada por el instrumento de medición, en la cual se puede apreciar prácticamente dos ciclos de trabajo completos.

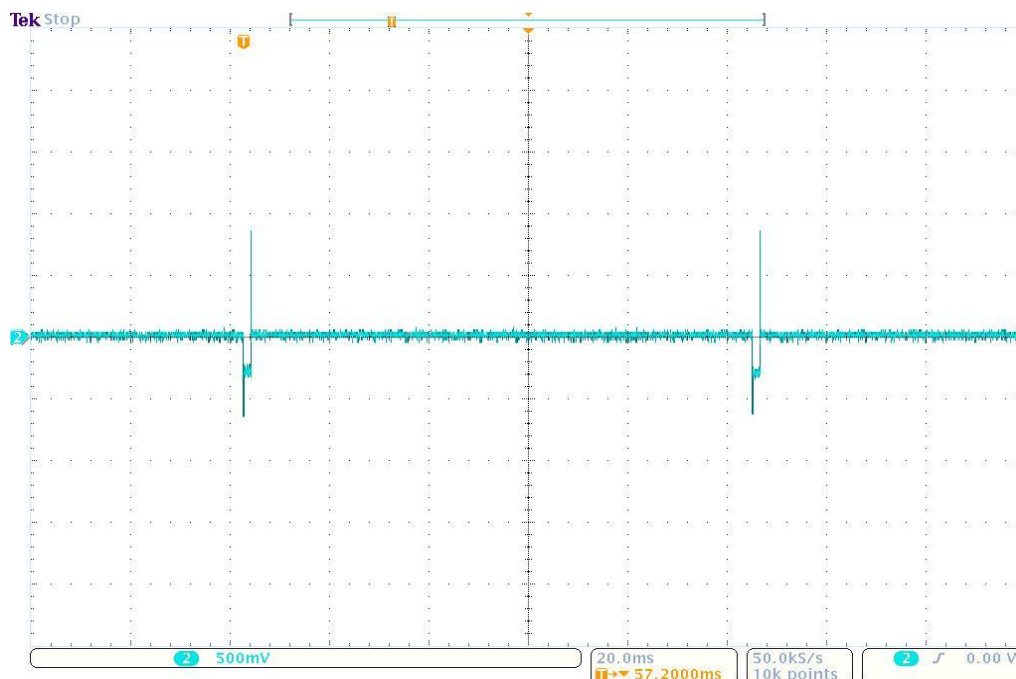


Figura 5.10: Medida ciclo de trabajo en osciloscopio

1. E.I.R.P.

Tabla 5.8: Resultados E.I.R.P. polarización horizontal

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|-------------------------------|--------------------|------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.026 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>BW</i> | 11.97 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>A medido</i> | -25.71 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 21.67 dBm |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>BW</i> | 11.88 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>A medido</i> | -26.15 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 21.21 dBm |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>BW</i> | 11.88 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>A medido</i> | -27.43 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 19.95 dBm |
| <i>Límite</i> | | 20 dBm |

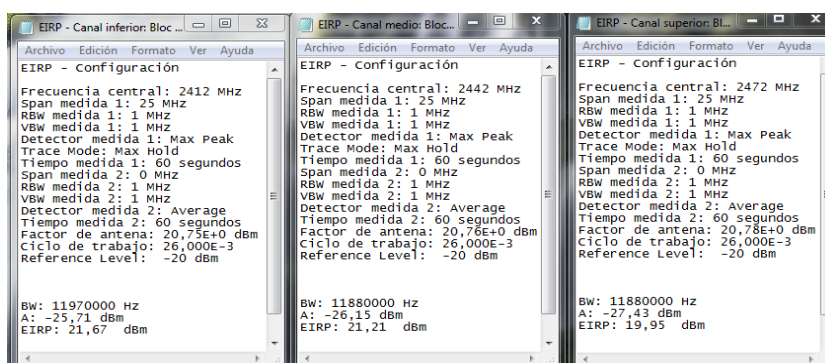


Figura 5.11: Documentos generado por el programa

Tabla 5.9: Resultados E.I.R.P. polarización vertical

| POLARIZACIÓN VERTICAL | | |
|------------------------------|--------------------|-----------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.026 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>BW</i> | 12.10 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>A medido</i> | -40.65 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 6.74 dBm |
| <i>Límite</i> | | 20 dBm |

| POLARIZACIÓN VERTICAL | | |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.026 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>BW</i> | 12.10 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>A medido</i> | -41.15 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 6.26 dBm |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>BW</i> | 11.92 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>A medido</i> | -41.24 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 6.15 dBm |
| <i>Límite</i> | | 20 dBm |

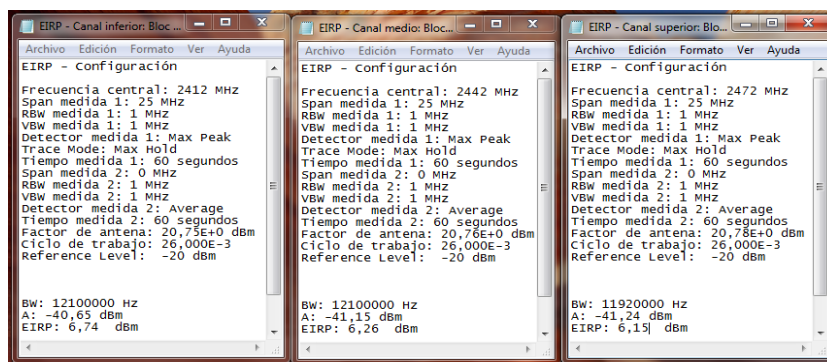


Figura 5.12: Documentos generado por el programa

Resultado prueba EIRP: Cumple / **No cumple**

2. Maximum E.I.R.P. Spectral Density

Tabla 5.10: Resultados Maximum E.I.R.P. Spectral Density polarización horizontal

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|------------------------------|------------------|-----------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.026 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>D medido</i> | -24.86 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | 11.74 dBm/MHz. |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>D medido</i> | -24.97 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | 11.64 dBm/MHz. |
| <i>Límite</i> | | 10 dBm/MHz. |

| POLARIZACIÓN VERTICAL | | |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.026 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>BW</i> | 11.92 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>A medido</i> | -41.24 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 6.15 dBm |
| <i>Límite</i> | | <i>20 dBm</i> |

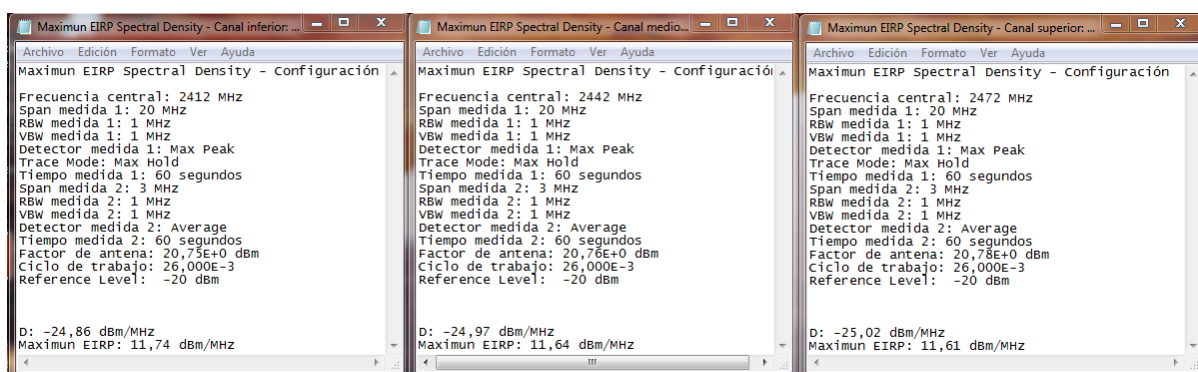


Figura 5.13: Documentos generado por el programa

Tabla 5.11: Resultados Maximum E.I.R.P. Spectral Density polarización vertical

| POLARIZACIÓN VERTICAL | | |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.026 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>D medido</i> | -40.45 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | -3.85 dBm/MHz. |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>D medido</i> | -41.06 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | -4.45 dBm/MHz. |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>D medido</i> | -40.7 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | -4.07 dBm/MHz. |
| <i>Límite</i> | | <i>10 dBm/MHz.</i> |

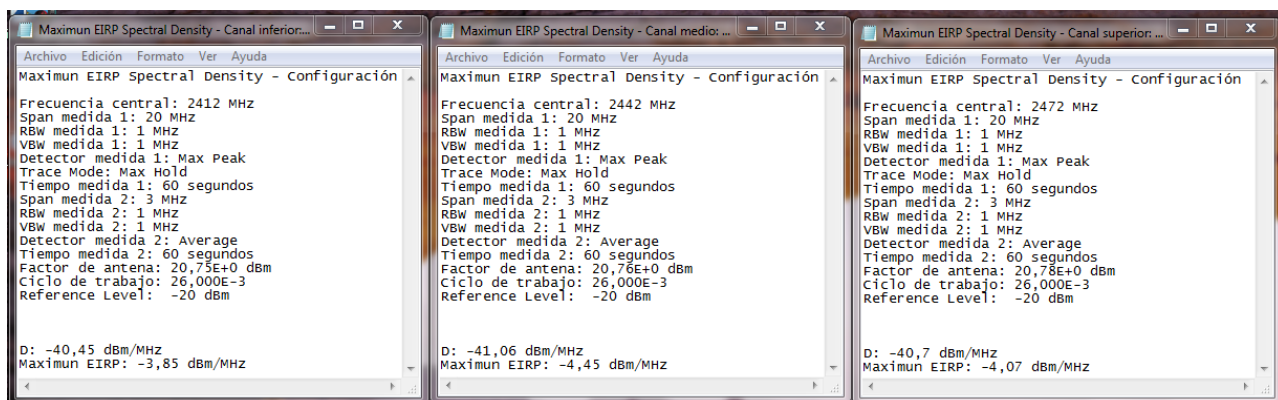


Figura 5.14: Documentos generado por el programa

Resultado prueba Maximum EIRP Spectral Density: Cumple / **No cumple**

3. Frequency Range

Tabla 5.12: Resultados Frequency Range polarización horizontal y vertical

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|-------------------------|---------------------------------|--------------|
| Canal | Medida | Valor |
| Inferior - Canal 1 | f_{inf} | 2402.59 MHz. |
| Superior - Canal 13 | f_{sup} | 2481.13 MHz. |
| POLARIZACIÓN VERTICAL | | |
| Canal | Medida | Valor |
| Inferior - Canal 1 | f_{inf} | 2402.58 MHz. |
| Superior - Canal 13 | f_{sup} | 2481.24 MHz. |
| Límite | $f_{inf} > 2400 \text{ MHz.}$ | |
| | $f_{sup} < 2483.5 \text{ MHz.}$ | |

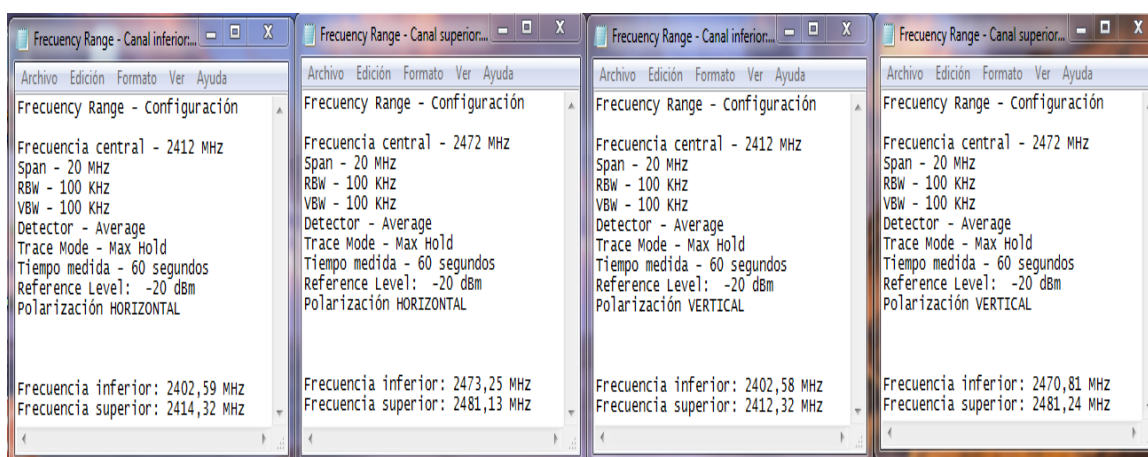


Figura 5.15: Documentos generado por el programa

Resultado prueba Frequency Range: **Cumple** / No cumple

4. Análisis de resultados

Tal como se puede observar en los apartados anteriores, el EUT no superó las dos primeras pruebas, al superar los valores límites, lo que conlleva a que el aparato sea catalogado como **NO APTO**.



Figura 5.16: Imagen tomada durante las pruebas del iRouter

5.2.2 Orange LiveBox ARV7519RW22-A-LT

Al igual que en el caso anterior, la primera prueba que se realizó sobre este dispositivo fue el cálculo de su ciclo de trabajo. Tanto los resultados obtenidos, así como los documentos generados durante las pruebas realizadas sobre el EUT se muestran a continuación.

0. Ciclo de trabajo

Para el cálculo del ciclo de trabajo se hizo uso del propio analizador de espectro empleado en este PFC (descrito en el apartado 3.1.4), siendo el valor de ciclo de trabajo obtenido 0.016. A continuación se muestra la señal captada por el instrumento de medición, en la cual se puede apreciar un ciclo de trabajo completo.

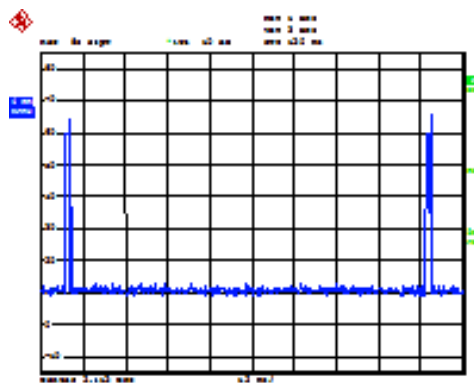


Figura 5.17: Medida ciclo de trabajo en analizador de espectro

1. E.I.R.P.

Tabla 5.13: Resultados E.I.R.P. polarización horizontal

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|-------------------------------|--------------------|------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.016 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>BW</i> | 10.95 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>A medido</i> | -32.30 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 16.80 dBm |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>BW</i> | 12.15 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>A medido</i> | -32.79 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 16.78 dBm |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>BW</i> | 12.10 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>A medido</i> | -32.72 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 16.85 dBm |
| <i>Límite</i> | | 20 dBm |

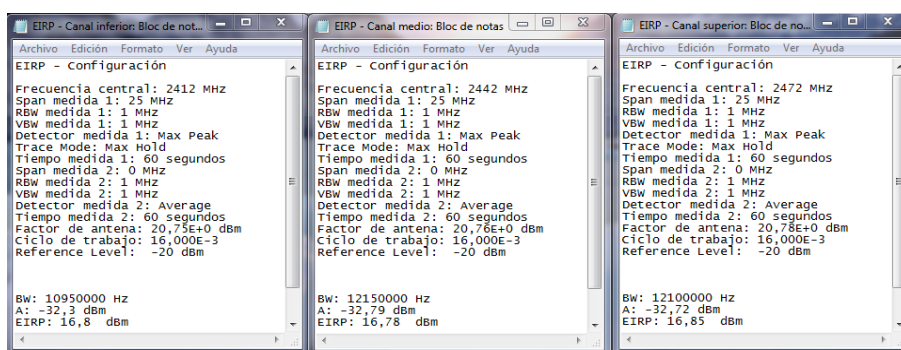


Figura 5.18: Documentos generado por el programa

Tabla 5.14: Resultados E.I.R.P. polarización vertical

| POLARIZACIÓN VERTICAL | | |
|------------------------------|--------------------|------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.016 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>BW</i> | 11.15 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>A medido</i> | -33.23 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 15.95 dBm |
| <i>Límite</i> | | 20 dBm |

| POLARIZACIÓN VERTICAL | | |
|-------------------------------|--------------------|------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.016 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>BW</i> | 11.05 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>A medido</i> | -32.46 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 16.69 dBm |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>BW</i> | 12.15 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>A medido</i> | -33.82 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 15.77 dBm |
| <i>Límite</i> | | 20 dBm |

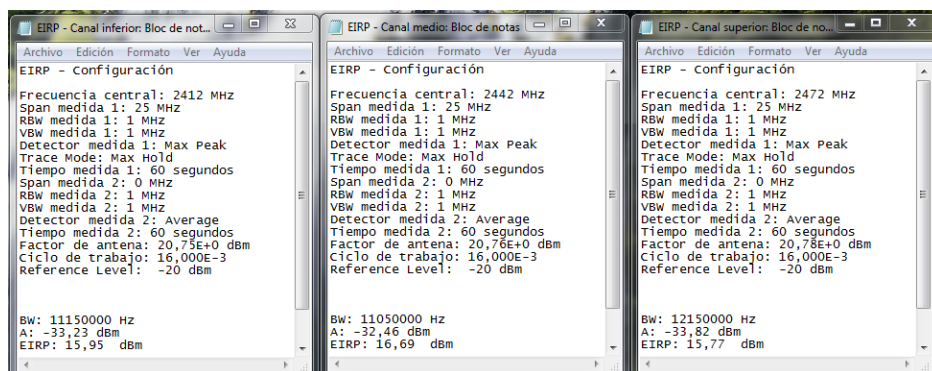


Figura 5.19: Documentos generado por el programa

Resultado prueba EIRP: **Cumple** / No cumple

2. Maximum E.I.R.P. Spectral Density

Tabla 5.15: Resultados Maximum E.I.R.P. Spectral Density polarización horizontal

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|------------------------------|------------------|----------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.016 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>D medido</i> | -32.70 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | 6 dBm/MHz. |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>D medido</i> | -31.90 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | 6.82 dBm/MHz. |
| <i>Límite</i> | | 10 dBm/MHz. |

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|-------------------------------|-----------------|----------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.016 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>D medido</i> | -32.09 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | 6.65 dBm/MHz. |
| <i>Límite</i> | | <i>10 dBm/MHz.</i> |

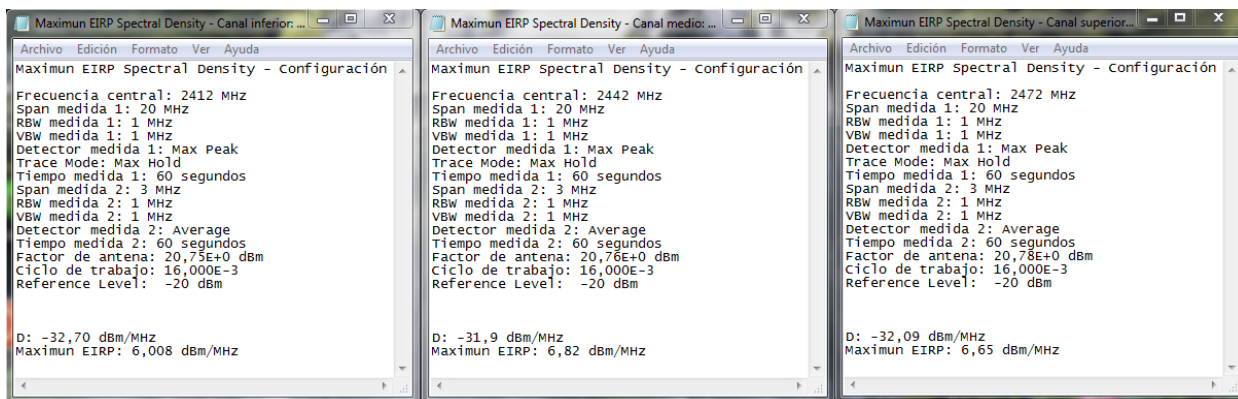


Figura 5.20: Documentos generado por el programa

Tabla 5.16: Resultados Maximum E.I.R.P. Spectral Density polarización vertical

| POLARIZACIÓN VERTICAL | | |
|-------------------------------|-----------------|----------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.016 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>D medido</i> | -32.30 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | 6.41 dBm/MHz. |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>D medido</i> | -32.93 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | 5.79 dBm/MHz. |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>D medido</i> | -33.75 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | 5.01 dBm/MHz. |
| <i>Límite</i> | | <i>10 dBm/MHz.</i> |

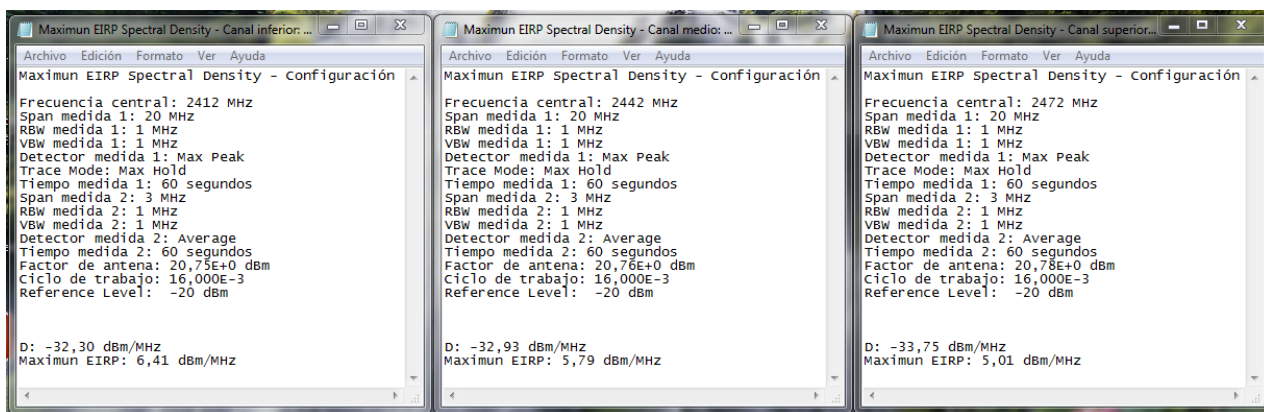


Figura 5.21: Documentos generado por el programa

Resultado prueba Maximum EIRP Spectral Density: **Cumple** / No cumple

3. Frequency Range

Tabla 5.17: Resultados Frequency Range polarización horizontal

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|----------------------------|---------------------------------|--------------|
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior - Canal 1</i> | f_{inf} | 2395.68 MHz. |
| <i>Superior - Canal 13</i> | f_{sup} | 2481.76 MHz. |
| Límite | $f_{inf} > 2400 \text{ MHz.}$ | |
| | $f_{sup} < 2483.5 \text{ MHz.}$ | |

Nota - Solo se recoge el peor de los dos posibles casos (polarización horizontal y vertical). En el siguiente EUT se da la misma circunstancia.

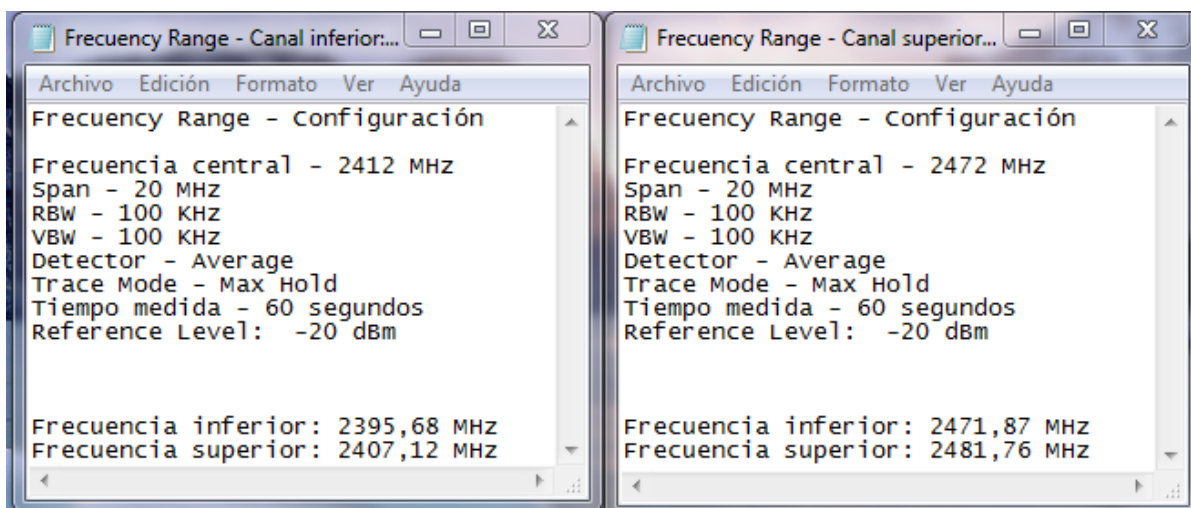


Figura 5.22: Documentos generado por el programa

Resultado prueba Frequency Range: Cumple / **No cumple**

4. Análisis de resultados

A diferencia del primer EUT, el presente aparato superó satisfactoriamente las dos primeras pruebas. No obstante, su valor de frecuencia inferior era menor al valor límite, por lo cual el EUT debe ser calificado como **NO APTO**.

5.2.3 Orange LiveBox Refresh 2 Sp Rev-2.

Al igual que en los dos casos anteriores, se calculo en primer lugar el ciclo de trabajo para, a continuación, realizar las acciones necesarias

0. Ciclo de trabajo

Para el cálculo del ciclo de trabajo se hizo uso nuevamente del analizador de espectro, siendo el valor de ciclo de trabajo obtenido 0.024. A continuación se muestra la señal captada por el instrumento de medición, en la cual se puede apreciar un ciclo de trabajo completo.

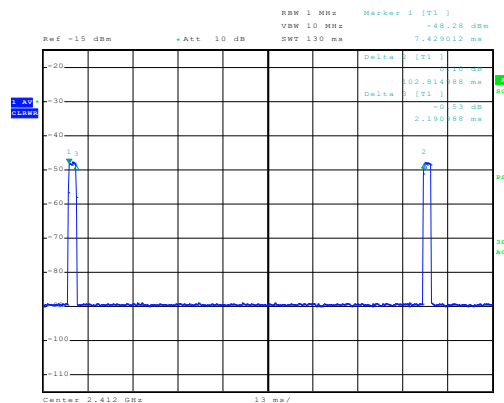


Figura 5.23: Medida ciclo de trabajo en analizador de espectro

1. E.I.R.P.

Tabla 5.18: Resultados E.I.R.P. polarización horizontal

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|------------------------------|--------------------|-----------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.024 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>BW</i> | 12 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>A medido</i> | -44.48 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 3.21 dBm |
| <i>Límite</i> | | 20 dBm |

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.024 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>BW</i> | 12.1 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>A medido</i> | -44.66 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 3.13 dBm |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>BW</i> | 12.05 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>A medido</i> | -43.08 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 4.71 dBm |
| <i>Límite</i> | | 20 dBm |

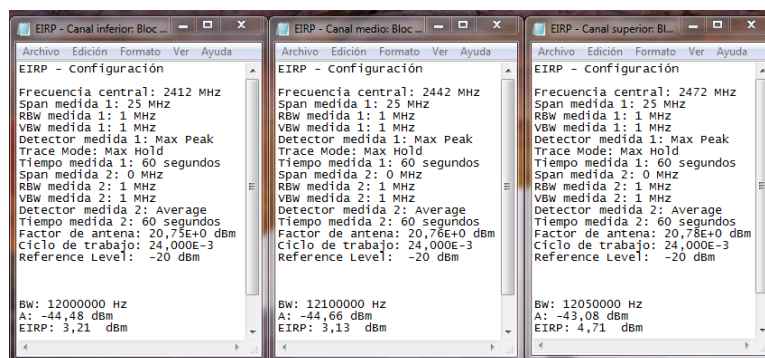


Figura 5.24: Documentos generado por el programa

Tabla 5.19: Resultados E.I.R.P. polarización vertical

| POLARIZACIÓN VERTICAL | | |
|------------------------------|--------------------|------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.024 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>BW</i> | 11.90 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>A medido</i> | -34.20 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 13.50 dBm |
| <i>Límite</i> | | 20 dBm |

| POLARIZACIÓN VERTICAL | | |
|-------------------------------|--------------------|------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.024 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>BW</i> | 12.75 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>A medido</i> | -35.07 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 12.95 dBm |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>BW</i> | 11.90 MHz. |
| | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>A medido</i> | -32.98 dBm |
| | <i>EIRP</i> | 14.26 dBm |
| <i>Límite</i> | | 20 dBm |

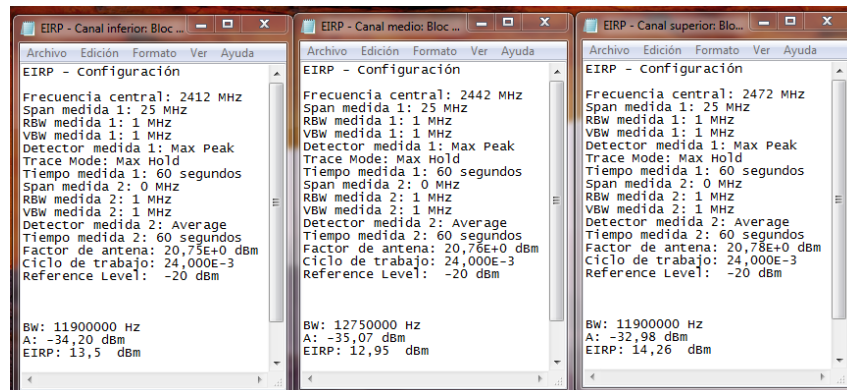


Figura 5.25: Documentos generado por el programa

Resultado prueba EIRP: **Cumple** / No cumple

2. Maximum E.I.R.P. Spectral Density

Tabla 5.20: Resultados Maximum E.I.R.P. Spectral Density polarización horizontal

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|------------------------------|------------------|-----------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.024 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>D medido</i> | -44.24 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | -7.29 dBm/MHz. |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>D medido</i> | -43.89 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | -6.93 dBm/MHz. |
| <i>Límite</i> | | 10 dBm/MHz. |

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.024 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>D medido</i> | -42.69 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | -5.71 dBm/MHz. |
| <i>Límite</i> | | <i>10 dBm/MHz.</i> |

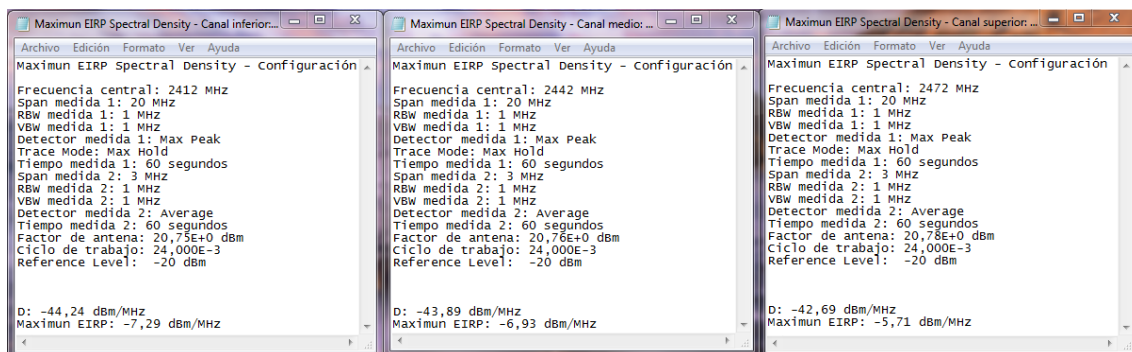


Figura 5.26: Documentos generado por el programa

Tabla 5.21: Resultados Maximum E.I.R.P. Spectral Density polarización vertical

| POLARIZACIÓN VERTICAL | | |
|-------------------------------|-----------------|----------------------|
| Condiciones de test | | Valor |
| <i>RBW</i> | | 1 MHz. |
| <i>Ciclo de trabajo</i> | | 0.024 |
| Canal | Medida | Valor |
| <i>Inferior</i> (Canal 1) | <i>FA</i> | 20.75 dB |
| | <i>D medido</i> | -34.06 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | 2.89 dBm/MHz. |
| <i>Medio</i> (Canal 7) | <i>FA</i> | 20.76 dB |
| | <i>D medido</i> | -34.72 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | 2.24 dBm/MHz. |
| <i>Superior</i> (Canal 13) | <i>FA</i> | 20.78 dB |
| | <i>D medido</i> | -32.60 dBm/MHz. |
| | <i>PD</i> | 4.38 dBm/MHz. |
| <i>Límite</i> | | <i>10 dBm/MHz.</i> |

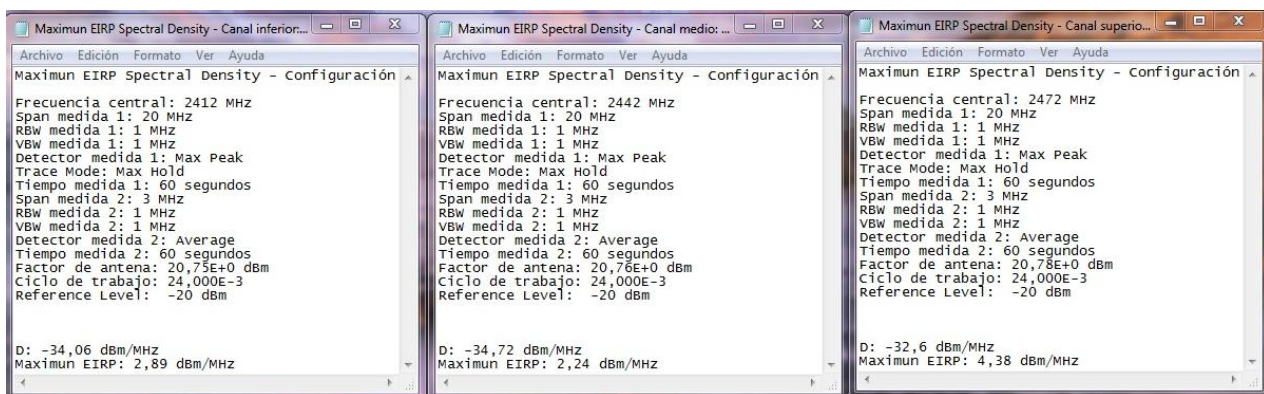


Figura 5.27: Documentos generado por el programa

Resultado prueba Maximum EIRP Spectral Density: **Cumple** / No cumple

3. Frequency Range

Tabla 5.22: Resultados Frequency Range polarización horizontal

| POLARIZACIÓN HORIZONTAL | | |
|-------------------------|---------------------------------|--------------|
| Canal | Medida | Valor |
| Inferior - Canal 1 | f_{inf} | 2402.28 MHz. |
| Superior - Canal 13 | f_{sup} | 2481.75 MHz. |
| Límite | $f_{inf} > 2400 \text{ MHz.}$ | |
| | $f_{sup} < 2483.5 \text{ MHz.}$ | |

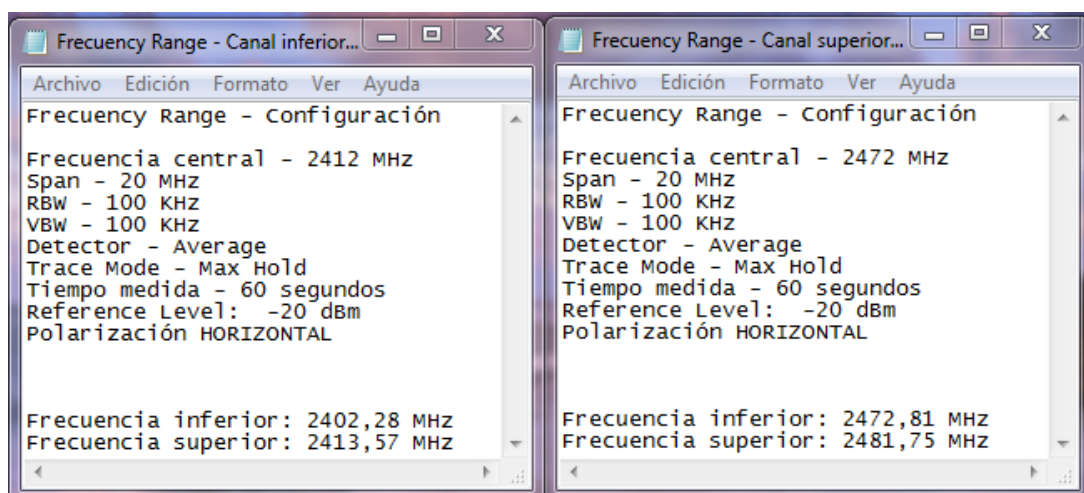


Figura 5.28: Documentos generado por el programa

Resultado prueba Frequency Range: **Cumple** / No cumple

4. Análisis de resultados

A diferencia de los dos anteriores EUT, el presente aparato superó satisfactoriamente todas las pruebas, por lo cual, a tenor de las pruebas indicadas, el Router puede ser calificado como **APTO**.

Capítulo 6: Conclusiones y líneas futuras de trabajo

6.1 Principales conclusiones

A lo largo del desarrollo de este PFC se han obtenido las siguientes conclusiones generales:

- Se realizó un estudio detallado de la Norma EN 300 328, versión 1.7.1, para la obtención de toda la información necesaria referente a las pruebas indicadas.

- Se procedió al desarrollo, mediante el uso de LabVIEW, de una aplicación que permitiera la automatización de las pruebas recogidas en la Norma. La elección de este lenguaje se basó en el gran número de posibilidades referentes a la creación de interfaces que presenta el mencionado lenguaje, hecho que facilita la automatización del proceso, al hacerlo más comprensible para el usuario.

- Se validó la aplicación mediante la comparación de resultados obtenidos por la aplicación con resultados obtenidos bien manualmente, bien haciendo uso de programas comerciales anteriormente validados.

- Se realizaron, haciendo uso de la aplicación, una serie de medidas sobre Router comerciales, no llegándose a realizar la totalidad de las pruebas debido a la reducida disponibilidad de los mismos. Solo uno de los modelos de Routers probados superó satisfactoriamente la totalidad de las pruebas, concretamente el modelo de Orange *LiveBox Refresh 2 Sp Rev-2*.

- El total de horas dedicadas a este proyecto fue de unas 150 horas, distribuidas a lo largo de dos años (desde octubre de 2010 hasta octubre de 2012), por lo cual el coste de la mano de obra se puede estimar por un valor de 6000 €, asumiendo el coste de mano de obra como 40 €/h.

La larga duración se explica, entre otros motivos, por el inicio de este PFC como “Trabajo Dirigido en Departamento” durante el curso 2010/11 y la imposibilidad de matricular dicho PFC antes de Junio de 2012.

6.2 Líneas futuras de trabajo

Tras la realización de este PFC, se propone orientar las futuras líneas de trabajo hacia los tres siguientes objetivos:

En primer lugar, se encuentran las mejoras en la presentación de resultados de la aplicación Wi-Fi 328, que se han puesto de manifiesto durante su uso real, las cuales son básicamente estéticas y se indican a continuación:

- Resaltar los resultados cuando se superen los valores límites.
- Presentar los resultados de las dos últimas pruebas (*Transmitter* y *Receiver Spurious Emissions*) en forma de gráficas junto con el ya existente formato de tablas.
- Posibilidad de introducir y guardar las configuraciones y límites desde archivo.

- Omisión de datos innecesarios como, por ejemplo, frecuencias adicionales en la prueba *Frequency Range*.
- Mayor información en las tablas generadas en las dos últimas pruebas.

En segundo lugar, se sitúa completar las pruebas no realizadas, tanto en el apartado de validación como el de pruebas sobre Routers comerciales, para lo cual sería necesario disponer de varios Routers con opción de modo receptor por el tiempo suficiente.

Por último, de disponer de un analizador de espectro cuya frecuencia máxima alcanzara los 12.75 GHz, podrían realizarse las pruebas sobre espurios en el rango completo indicado por la Norma (desde 30 MHz a 12.75 GHz.). No obstante debido al alto precio de un analizador de estas características, esta posibilidad actualmente parece remota.

Anexos

Anexo I – Unidades empleadas

A lo largo de este PFC se han empleado una serie de unidades, las cuales son explicadas a continuación para una mejor comprensión de este PFC.

dB:

Abreviatura de Decibelio, unidad logarítmica que indica la relación existente entre una magnitud física (en el caso concreto de este PFC, potencia) y un valor de referencia (denominado P_o en el caso concreto de potencia) de valor 1 W, hecho por el cual esta unidad también se suele denominar dBW.

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_o} \right)$$

dBm:

Misma explicación que en la unidad anterior, con la salvedad de que el valor de P_o es de 1 mW.

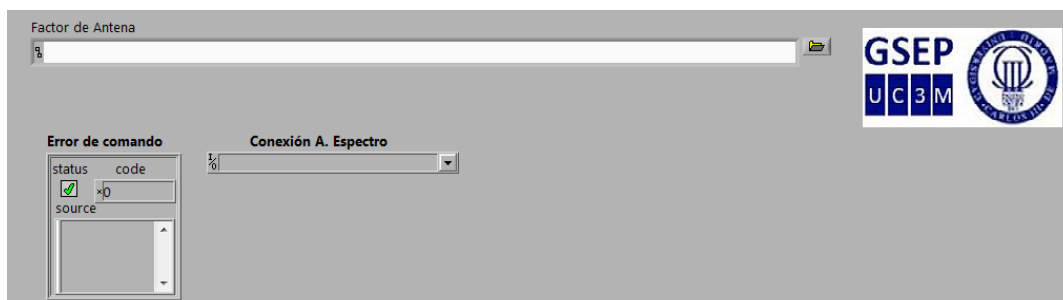
dB μ V:

Explicación similar a las anteriores con la salvedad de que en este caso la magnitud física estudiada es la tensión eléctrica, siendo su valor de referencia V_o igual a 1 μ V. La relación existente entre dB μ V y dBm se muestra a continuación:

$$dB\mu V = 90 + 10 \log_{10}(Z) + dBm$$

Anexo II – Manual de usuario WIFI 328

Menú principal - Parte inferior:

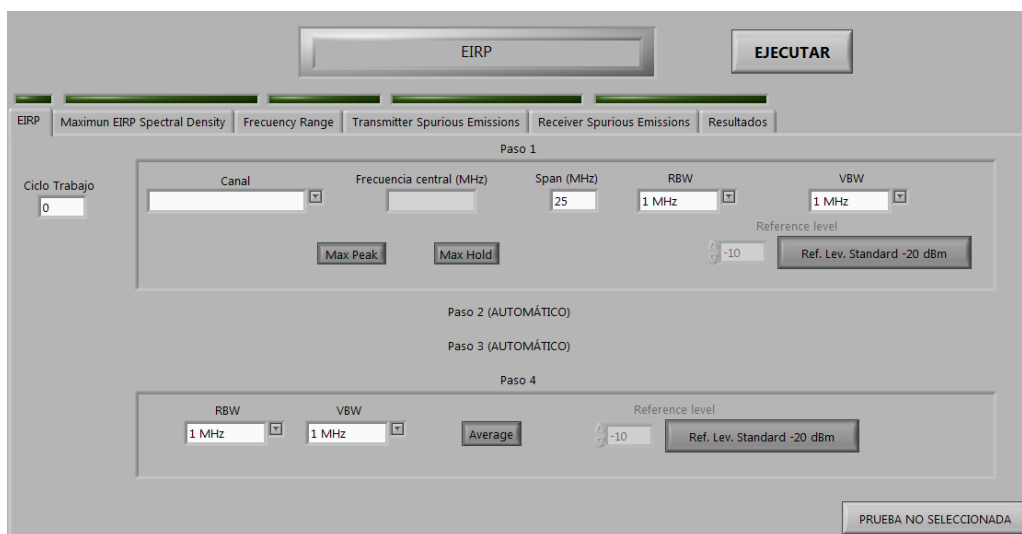


- **Factor de Antena: Archivo de frecuencias** – Indicamos la dirección donde se encuentran situados los valores de la tabla $FA = f(\text{frecuencia})$, en formato .txt, asociada a la antena en uso.

- **Error de comando** – Nos muestra en pantalla, en el caso de haber ocurrido algún tipo de error a la hora del paso de parámetros/órdenes, la tipología del mismo.

- **Conexión A. Espectro** – Indicamos la GPIB del aparato de medida, el cual debe estar encendido para poder seleccionarlo.

Menú principal – Pestaña EIRP:



Todos los valores referidos a continuación son referidos a la prueba
EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power)

Cuadro Paso 1

- **Canal** – Seleccionamos el canal en el cual queremos configurar el aparato de medida.

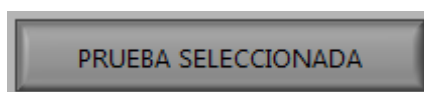
- **Frecuencia central (MHz.)** – Nos muestra en pantalla el valor, en megahercios, correspondiente al canal seleccionado.

- **Span (MHz.)** – Introducimos, en megahercios, el valor de *Span* que queremos configurar en el paso 1.

- **RBW** - Seleccionamos, entre los valores posibles, el valor de RBW que queremos configurar en el paso 1.
- **VBW** - Seleccionamos, entre los valores seleccionables, el valor de VBW que queremos configurar en el paso 1.
- **Max Peak** – Interruptor que deberemos pulsar si queremos seleccionar el detector en modo *Max Peak* en el paso 1.
- **Max Hold** - Interruptor que deberemos pulsar si queremos seleccionar la opción *Max Hold* en el modo de traza (*Trace Mode*) en el paso 1.
- **Reference level** – Introduce el valor de referencia en pantalla en el paso 1.
- **Ref. Lev. Standard** – Interruptor que debemos pulsar si queremos que el nivel de referencia en el analizador sea el valor por defecto (-20). En caso de estar pulsado, el valor presente en *Reference level* será ignorado y no podrá ser modificado.

Cuadro Paso 4

- **RBW** - Seleccionamos, entre los valores posibles, el valor de RBW que queremos configurar en el paso 4.
- **VBW** - Seleccionamos, entre los valores posibles, el valor de VBW que queremos configurar en el paso 3.
- **Average** – Interruptor que deberemos pulsar si queremos seleccionar el detector en modo *Average* en el paso 3.
- **Reference level** – Introduce el valor de referencia en pantalla en el paso 1.
- **Ref. Lev. Standard** – Interruptor que debemos pulsar si queremos que el nivel de referencia en el analizador sea el valor por defecto (-20). En caso de estar pulsado, el valor presente en *Reference level* será ignorado y no podrá ser modificado.
- **Ciclo de trabajo** – Introducimos el valor del ciclo de trabajo de la señal bajo estudio.
- **PRUEBA NO SELECCIONADA** – Seleccionamos esta pestaña si queremos realizar dicha prueba, en cuyo caso cambiará a la siguiente imagen.



Menú principal – Pestaña Maximum EIRP Spectral Density:

 La interfaz de usuario muestra la pestaña "Maximum EIRP Spectral Density" seleccionada. En la parte superior hay un botón "EJECUTAR". Debajo hay una barra de pestañas con "EIRP", "Maximum EIRP Spectral Density", "Frequency Range", "Transmitter Spurious Emissions", "Receiver Spurious Emissions" y "Resultados". El contenido principal está dividido en tres secciones:

- Paso 1:** Incluye un campo "Ciclo Trabajo" con el valor 0, un menú desplegable "Canal", un campo "Frecuencia central (MHz)", un campo "Span (MHz)" con el valor 20, un menú desplegable "RBW" con el valor 1 MHz, un menú desplegable "VBW" con el valor 1 MHz, dos botones "Max Peak" y "Max Hold", un control deslizante "Reference level" en -10, y un botón "Ref. Lev. Standard -20 dBm".
- Paso 2 (AUTOMÁTICO):** No tiene controles visibles.
- Paso 3:** Incluye un campo "Span (MHz)" con el valor 3, un menú desplegable "RBW" con el valor 1 MHz, un menú desplegable "VBW" con el valor 1 MHz, un botón "Average", un control deslizante "Reference level" en -10, y un botón "Ref. Lev. Standard -20 dBm".

 En la parte inferior derecha hay un botón "PRUEBA NO SELECCIONADA".

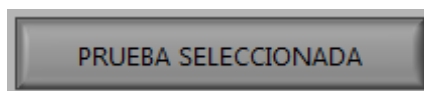
Todos los valores referidos a continuación son referidos a la prueba
Maximum EIRP Spectral Density

Cuadro Paso 1

- **Canal** – Seleccionamos el canal en el cual queremos configurar el aparato de medida.
- **Frecuencia central (MHz.)** – Nos muestra en pantalla el valor, en megahercios, correspondiente al canal seleccionado.
- **Span (MHz.)** – Introducimos, en megahercios, el valor de *Span* que queremos configurar en el paso 1.
- **RBW** - Seleccionamos, entre los valores posibles, el valor de RBW que queremos configurar en el paso 1.
- **VBW** - Seleccionamos, entre los valores seleccionables, el valor de VBW que queremos configurar en el paso 1.
- **Max Peak** – Interruptor que deberemos pulsar si queremos seleccionar el detector en modo *Max Peak* en el paso 1.
- **Max Hold** - Interruptor que deberemos pulsar si queremos seleccionar la opción *Max Hold* en el modo de traza (*Trace Mode*) en el paso 1.
- **Reference level** – Introduce el valor de referencia en pantalla en el paso 1.
- **Ref. Lev. Standard** – Interruptor que debemos pulsar si queremos que el nivel de referencia en el analizador sea el valor por defecto (-20). En caso de estar pulsado, el valor presente en *Reference level* será ignorado y no podrá ser modificado.

Cuadro Paso 3

- **Span (MHz.)** – Introducimos, en megahercios, el valor de *Span* que queremos configurar en el paso 3.
- **RBW** - Seleccionamos, entre los valores posibles, el valor de RBW que queremos configurar en el paso 4.
- **VBW** - Seleccionamos, entre los valores posibles, el valor de VBW que queremos configurar en el paso 3.
- **Average** – Interruptor que deberemos pulsar si queremos seleccionar el detector en modo *Average* en el paso 3.
- **Reference level** – Introduce el valor de referencia en pantalla en el paso 1.
- **Ref. Lev. Standard** – Interruptor que debemos pulsar si queremos que el nivel de referencia en el analizador sea el valor por defecto (-20). En caso de estar pulsado, el valor presente en *Reference level* será ignorado y no podrá ser modificado.
- **Ciclo de trabajo** – Introducimos el valor del ciclo de trabajo de la señal bajo estudio.
- **PRUEBA NO SELECCIONADA** – Seleccionamos esta pestaña si queremos realizar dicha prueba, en cuyo caso cambiará a la siguiente imagen.



Menú principal – Pestaña Frequency Range:

Frequency Range

EJECUTAR

EIRP Maximun EIRP Spectral Density **Frequency Range** Transmitter Spurious Emissions Receiver Spurious Emissions Resultados

Canal Frecuencia central (MHz) Span (MHz) RBW VBW

Reference level

-5 Ref. Lev. Standard -20 dBm Max Hold Average

PRUEBA NO SELECCIONADA

Todos los valores referidos a continuación son referidos a la prueba
Frequency Range

- **Canal** – Seleccionamos el canal en el cual queremos configurar el aparato de medida.
 - **Frecuencia central (MHz.)** – Nos muestra en pantalla el valor, en megahercios, correspondiente al canal seleccionado.
 - **Span (MHz.)** – Introducimos, en megahercios, el valor de *Span* que queremos configurar.
 - **RBW** - Seleccionamos, entre los valores posibles, el valor de RBW que queremos configurar.
 - **VBW** - Seleccionamos, entre los valores seleccionables, el valor de VBW que queremos configurar.
 - **Max Hold** - Interruptor que deberemos pulsar si queremos seleccionar la opción *Max Hold* en el modo de traza (*Trace Mode*).
 - **Average** – Interruptor que deberemos pulsar si queremos seleccionar el detector en modo *Average*.
 - **Reference level** – Introduce el valor de referencia en pantalla en el paso 1.
 - **Ref. Lev. Standard** – Interruptor que debemos pulsar si queremos que el nivel de referencia en el analizador sea el valor por defecto (-20). En caso de estar pulsado, el valor presente en *Reference level* será ignorado y no podrá ser modificado.
- **PRUEBA NO SELECCIONADA** – Seleccionamos esta pestaña si queremos realizar dicha prueba, en cuyo caso cambiará a la siguiente imagen.

PRUEBA SELECCIONADA

Menú principal – Pestaña Transmitter Spurious Emissions:

Transmitter Spurious Emissions

EJECUTAR

EIRP | Maximun EIRP Spectral Density | Frecuency Range | Transmitter Spurious Emissions | Receiver Spurious Emissions | Resultados

RBW paso 1: 10 MHz

RBW paso 2: 1 MHz

Max Hold | Max Peak | Operating

Frecuencia inferior (MHz): 0

Frecuencia superior (MHz): 0

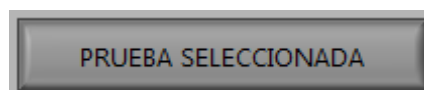
PRUEBA NO SELECCIONADA

Todos los valores referidos a continuación son referidos a la prueba
Transmitter Spurious Emissions

- **RBW paso 1 (MHz.)** - Introducimos, en megahercios, el valor de RBW que queremos configurar en el paso 1.
- **RBW paso 2 (MHz.)** - Introducimos, en kilohercios, el valor de RBW que queremos configurar en el paso 2.
- **Max Hold** - Interruptor que deberemos pulsar si queremos seleccionar la opción *Max Hold* en el modo de traza (*Trace Mode*) tanto para el paso 1 como para el paso 3.
- **Max Peak** - Interruptor que deberemos pulsar si queremos seleccionar el detector en modo *Max Peak* tanto para el paso 1 como para el paso 3.
- **Frecuencia inferior** - Introducimos, en megahercios, el valor inferior del intervalo de frecuencias que queramos analizar.
- **Frecuencia superior** - Introducimos, en megahercios, el valor superior del intervalo de frecuencias que queramos analizar.
- **Operating** - Pestaña que seleccionamos cuando estemos trabajando en modo *Operating*, en caso contrario estaremos trabajando en modo *Standby* la deseccionamos, cambiando el botón al siguiente aspecto.



- **PRUEBA NO SELECCIONADA** - Seleccionamos esta pestaña si queremos realizar dicha prueba, en cuyo caso cambiará a la siguiente imagen.



Menú principal – Pestaña Receiver Spurious Emissions:

The screenshot shows the 'Receiver Spurious Emissions' tab selected in the software. The interface includes a top bar with the tab name and an 'EJECUTAR' button. Below the tab bar, there are several input fields and buttons. On the left, there are two dropdown menus for 'RBW paso 1' (set to 10 MHz) and 'RBW paso 2' (set to 1 MHz). To their right are two buttons labeled 'Max Hold' and 'Max Peak'. Further right are two input fields for 'Frecuencia inferior (MHz)' and 'Frecuencia superior (MHz)', both set to 0. At the bottom right, there is a button labeled 'PRUEBA NO SELECCIONADA'.

Misma explicaciones que para la anterior prueba (*Transmitter Spurious Emissions*)

Menú principal – Pestaña Resultados:

The screenshot shows the 'Resultados' tab selected in the software. The interface includes a top bar with the tab name and an 'EJECUTAR' button. Below the tab bar, there are three input fields. The first is labeled 'Ubicación Informe' and has a file explorer icon to its right. The second is labeled 'Nombre prueba'. The third is labeled 'Datos adicionales' and is a larger text area. At the bottom right, there is a button labeled 'PRUEBA NO SELECCIONADA'.

- **Ubicación Informe** – Introducimos la dirección del archivo donde queremos que los valores obtenidos y las configuraciones seleccionadas en las pruebas realizadas sean guardados. Automáticamente, el programa creará una carpeta para cada prueba seleccionada. En caso de no existir el archivo, el programa lo creará automáticamente.

- **Nombre prueba** – Introducimos el nombre que queremos dar a todos los archivos relacionados con las pruebas seleccionadas.

- **Datos Informe** - Introducimos cualquier tipo de dato, apunte, etc. que queramos que aparezca al inicio del informe.

Anexo III – Tablas

La totalidad de los datos a continuación mostrados fueron obtenidas durante la prueba de validación (apartado 5.1), sección *Transmitter Spurious Emissions*. Dichos resultados fueron ligeramente modificados para una mejor y más rápida comprensión. Debido al elevado número de datos generados, las tablas 3.1 y 3.2 ocupan varias páginas, leyéndose los datos de manera independiente en cada página (al último dato de una página le continua el primero de la siguiente). Los valores de frecuencia se muestran en GHz, mientras que los valores de potencia son mostrados en dBm.

Tabla 1: Tabla generada paso 1

| Frecuencia | Potencia | | Frecuencia | Potencia | | Frecuencia | Potencia | |
|------------|----------|--------------------|------------|----------|--------------------|------------|----------|--------------------|
| 2,400E+09 | -47,7366 | Límite no superado | 2,435E+09 | -46,8 | Límite no superado | 2,470E+09 | 1,839587 | Límite superado |
| 2,405E+09 | -47,4284 | Límite no superado | 2,440E+09 | -47,499 | Límite no superado | 2,475E+09 | 1,689987 | Límite superado |
| 2,410E+09 | -47,6391 | Límite no superado | 2,445E+09 | -46,3973 | Límite no superado | 2,480E+09 | -6,36434 | Límite superado |
| 2,415E+09 | -46,9952 | Límite no superado | 2,450E+09 | -46,4248 | Límite no superado | 2,485E+09 | -27,1151 | Límite superado |
| 2,420E+09 | -47,4194 | Límite no superado | 2,455E+09 | -41,0197 | Límite no superado | 2,490E+09 | -8,03695 | Límite superado |
| 2,425E+09 | -47,3554 | Límite no superado | 2,460E+09 | -28,9918 | Límite superado | 2,495E+09 | -44,9939 | Límite no superado |
| 2,430E+09 | -46,681 | Límite no superado | 2,465E+09 | -6,25126 | Límite superado | 2,500E+09 | -44,9604 | Límite no superado |

Tabla 2: Tabla generada paso 2

| Frecuencia | Potencia | | Frecuencia | Potencia | | Frecuencia | Potencia | |
|------------|----------|--------------------|------------|----------|--------------------|------------|----------|--------------------|
| 2,4550E+09 | -49,26 | Límite no superado | 2,4685E+09 | -8,0372 | Límite superado | 2,4820E+09 | -41,11 | Límite no superado |
| 2,4555E+09 | -53,062 | Límite no superado | 2,4690E+09 | -7,6402 | Límite superado | 2,4825E+09 | -41,48 | Límite no superado |
| 2,4560E+09 | -51,048 | Límite no superado | 2,4695E+09 | -6,358 | Límite superado | 2,4830E+09 | -42,58 | Límite no superado |
| 2,4565E+09 | -50,132 | Límite no superado | 2,4700E+09 | -5,5642 | Límite superado | 2,4835E+09 | -43,46 | Límite no superado |
| 2,4570E+09 | -50,009 | Límite no superado | 2,4705E+09 | -4,6788 | Límite superado | 2,4840E+09 | -45,23 | Límite no superado |
| 2,4575E+09 | -48,788 | Límite no superado | 2,4710E+09 | -4,5564 | Límite superado | 2,4845E+09 | -47,25 | Límite no superado |
| 2,4580E+09 | -49,704 | Límite no superado | 2,4715E+09 | -6,0822 | Límite superado | 2,4850E+09 | -47,58 | Límite no superado |
| 2,4585E+09 | -48,91 | Límite no superado | 2,4720E+09 | -4,9221 | Límite superado | 2,4855E+09 | -48,56 | Límite no superado |
| 2,4590E+09 | -48,391 | Límite no superado | 2,4725E+09 | -5,7458 | Límite superado | 2,4860E+09 | -48,19 | Límite no superado |
| 2,4595E+09 | -47,353 | Límite no superado | 2,4730E+09 | -4,3416 | Límite superado | 2,4865E+09 | -49,08 | Límite no superado |
| 2,4600E+09 | -45,735 | Límite no superado | 2,4735E+09 | -4,4023 | Límite superado | 2,4870E+09 | -49,14 | Límite no superado |
| 2,4605E+09 | -43,506 | Límite no superado | 2,4740E+09 | -5,2261 | Límite superado | 2,4875E+09 | -50,05 | Límite no superado |
| 2,4610E+09 | -42,316 | Límite no superado | 2,4745E+09 | -5,8972 | Límite superado | 2,4880E+09 | -49,84 | Límite no superado |
| 2,4615E+09 | -42,316 | Límite no superado | 2,4750E+09 | -6,9346 | Límite superado | 2,4885E+09 | -51,67 | Límite no superado |
| 2,4620E+09 | -41,186 | Límite no superado | 2,4755E+09 | -7,3311 | Límite superado | 2,4890E+09 | -52,92 | Límite no superado |
| 2,4625E+09 | -40,118 | Límite no superado | 2,4760E+09 | -8,338 | Límite superado | 2,4895E+09 | -52,89 | Límite no superado |
| 2,4630E+09 | -40,331 | Límite no superado | 2,4765E+09 | -10,749 | Límite superado | 2,4900E+09 | -52,8 | Límite no superado |
| 2,4635E+09 | -38,621 | Límite no superado | 2,4770E+09 | -13,221 | Límite superado | 2,4905E+09 | -53,1 | Límite no superado |
| 2,4640E+09 | -37,095 | Límite no superado | 2,4775E+09 | -15,631 | Límite superado | 2,4910E+09 | -53,8 | Límite no superado |
| 2,4645E+09 | -33,86 | Límite superado | 2,4780E+09 | -19,293 | Límite superado | 2,4915E+09 | -52,64 | Límite no superado |
| 2,4650E+09 | -30,96 | Límite superado | 2,4785E+09 | -24,97 | Límite superado | 2,4920E+09 | -53,8 | Límite no superado |
| 2,4655E+09 | -26,87 | Límite superado | 2,4790E+09 | -28,693 | Límite superado | 2,4925E+09 | -52,98 | Límite no superado |
| 2,4660E+09 | -20,613 | Límite superado | 2,4795E+09 | -32,813 | Límite superado | 2,4930E+09 | -54,05 | Límite no superado |
| 2,4665E+09 | -17,011 | Límite superado | 2,4800E+09 | -35,743 | Límite superado | 2,4935E+09 | -53,99 | Límite no superado |
| 2,4670E+09 | -14,417 | Límite superado | 2,4805E+09 | -39,161 | Límite no superado | 2,4940E+09 | -53,13 | Límite no superado |
| 2,4675E+09 | -11,487 | Límite superado | 2,4810E+09 | -40,259 | Límite no superado | 2,4945E+09 | -53,22 | Límite no superado |
| 2,4680E+09 | -9,0142 | Límite superado | 2,4815E+09 | -40,717 | Límite no superado | 2,4950E+09 | -54,17 | Límite no superado |

Tabla 3.1: Tabla generada paso 3

| Frecuencia | Potencia | | Frecuencia | Potencia | | Frecuencia | Potencia | |
|-------------|------------|--------------------|-------------|------------|-----------------|-------------|------------|-----------------|
| 2,46400E+09 | -46,437947 | Límite no superado | 2,46610E+09 | -30,359992 | Límite superado | 2,46820E+09 | -16,385073 | Límite superado |
| 2,46405E+09 | -47,445981 | Límite no superado | 2,46615E+09 | -31,493641 | Límite superado | 2,46825E+09 | -15,967253 | Límite superado |
| 2,46410E+09 | -48,584684 | Límite no superado | 2,46620E+09 | -31,860215 | Límite superado | 2,46830E+09 | -16,250186 | Límite superado |
| 2,46415E+09 | -47,683622 | Límite no superado | 2,46625E+09 | -32,034459 | Límite superado | 2,46835E+09 | -16,233482 | Límite superado |
| 2,46420E+09 | -48,134131 | Límite no superado | 2,46630E+09 | -33,499486 | Límite superado | 2,46840E+09 | -15,958229 | Límite superado |
| 2,46425E+09 | -48,499725 | Límite no superado | 2,46635E+09 | -34,113951 | Límite superado | 2,46845E+09 | -15,028714 | Límite superado |
| 2,46430E+09 | -48,432289 | Límite no superado | 2,46640E+09 | -35,415061 | Límite superado | 2,46850E+09 | -12,32163 | Límite superado |
| 2,46435E+09 | -48,599617 | Límite no superado | 2,46645E+09 | -35,421462 | Límite superado | 2,46855E+09 | -14,746832 | Límite superado |
| 2,46440E+09 | -49,111893 | Límite no superado | 2,46650E+09 | -33,511168 | Límite superado | 2,46860E+09 | -16,069182 | Límite superado |
| 2,46445E+09 | -47,637101 | Límite no superado | 2,46655E+09 | -34,345505 | Límite superado | 2,46865E+09 | -16,165553 | Límite superado |
| 2,46450E+09 | -47,213175 | Límite no superado | 2,46660E+09 | -33,099663 | Límite superado | 2,46870E+09 | -15,897682 | Límite superado |
| 2,46455E+09 | -48,464175 | Límite no superado | 2,46665E+09 | -31,321481 | Límite superado | 2,46875E+09 | -15,393654 | Límite superado |
| 2,46460E+09 | -48,028193 | Límite no superado | 2,46670E+09 | -29,621664 | Límite superado | 2,46880E+09 | -15,644291 | Límite superado |
| 2,46465E+09 | -48,454998 | Límite no superado | 2,46675E+09 | -27,765208 | Límite superado | 2,46885E+09 | -15,530912 | Límite superado |
| 2,46470E+09 | -47,511181 | Límite no superado | 2,46680E+09 | -26,333327 | Límite superado | 2,46890E+09 | -15,420736 | Límite superado |
| 2,46475E+09 | -45,960888 | Límite no superado | 2,46685E+09 | -25,25072 | Límite superado | 2,46895E+09 | -13,941912 | Límite superado |
| 2,46480E+09 | -45,944158 | Límite no superado | 2,46690E+09 | -24,465542 | Límite superado | 2,46900E+09 | -11,063464 | Límite superado |
| 2,46485E+09 | -45,157919 | Límite no superado | 2,46695E+09 | -21,626679 | Límite superado | 2,46905E+09 | -13,682475 | Límite superado |
| 2,46490E+09 | -44,800131 | Límite no superado | 2,46700E+09 | -18,535409 | Límite superado | 2,46910E+09 | -14,556186 | Límite superado |
| 2,46495E+09 | -42,982638 | Límite no superado | 2,46705E+09 | -20,977708 | Límite superado | 2,46915E+09 | -14,413319 | Límite superado |
| 2,46500E+09 | -39,126037 | Límite no superado | 2,46710E+09 | -21,435968 | Límite superado | 2,46920E+09 | -14,240353 | Límite superado |
| 2,46505E+09 | -41,628971 | Límite no superado | 2,46715E+09 | -20,987662 | Límite superado | 2,46925E+09 | -13,751859 | Límite superado |
| 2,46510E+09 | -41,435273 | Límite no superado | 2,46720E+09 | -20,524451 | Límite superado | 2,46930E+09 | -14,065767 | Límite superado |
| 2,46515E+09 | -41,228307 | Límite no superado | 2,46725E+09 | -20,078335 | Límite superado | 2,46935E+09 | -14,209246 | Límite superado |
| 2,46520E+09 | -40,47965 | Límite no superado | 2,46730E+09 | -20,457669 | Límite superado | 2,46940E+09 | -14,096862 | Límite superado |
| 2,46525E+09 | -39,57551 | Límite no superado | 2,46735E+09 | -20,193147 | Límite superado | 2,46945E+09 | -13,081394 | Límite superado |
| 2,46530E+09 | -39,737296 | Límite no superado | 2,46740E+09 | -19,969068 | Límite superado | 2,46950E+09 | -10,701227 | Límite superado |
| 2,46535E+09 | -39,036941 | Límite no superado | 2,46745E+09 | -18,847498 | Límite superado | 2,46955E+09 | -12,938771 | Límite superado |
| 2,46540E+09 | -38,287155 | Límite no superado | 2,46750E+09 | -16,467604 | Límite superado | 2,46960E+09 | -13,081556 | Límite superado |
| 2,46545E+09 | -36,158074 | Límite no superado | 2,46755E+09 | -18,62519 | Límite superado | 2,46965E+09 | -14,280866 | Límite superado |
| 2,46550E+09 | -33,636975 | Límite superado | 2,46760E+09 | -19,657161 | Límite superado | 2,46970E+09 | -14,42243 | Límite superado |
| 2,46555E+09 | -20,067552 | Límite superado | 2,46765E+09 | -19,78104 | Límite superado | 2,46975E+09 | -13,87334 | Límite superado |
| 2,46560E+09 | -34,619978 | Límite superado | 2,46770E+09 | -19,657433 | Límite superado | 2,46980E+09 | -14,166129 | Límite superado |
| 2,46565E+09 | -34,302401 | Límite superado | 2,46775E+09 | -18,708779 | Límite superado | 2,46985E+09 | -14,078655 | Límite superado |
| 2,46570E+09 | -33,741633 | Límite superado | 2,46780E+09 | -18,979402 | Límite superado | 2,46990E+09 | -14,098565 | Límite superado |
| 2,46575E+09 | -32,470371 | Límite superado | 2,46785E+09 | -18,684054 | Límite superado | 2,46995E+09 | -12,577149 | Límite superado |
| 2,46580E+09 | -32,200672 | Límite superado | 2,46790E+09 | -18,295054 | Límite superado | 2,47000E+09 | -10,310764 | Límite superado |
| 2,46585E+09 | -31,952588 | Límite superado | 2,46795E+09 | -16,733726 | Límite superado | 2,47005E+09 | -12,344034 | Límite superado |
| 2,46590E+09 | -31,329141 | Límite superado | 2,46800E+09 | -14,715637 | Límite superado | 2,47010E+09 | -13,543845 | Límite superado |
| 2,46595E+09 | -30,22674 | Límite superado | 2,46805E+09 | -16,143959 | Límite superado | 2,47015E+09 | -13,15517 | Límite superado |
| 2,46600E+09 | -27,351481 | Límite superado | 2,46810E+09 | -17,152673 | Límite superado | 2,47020E+09 | -13,065731 | Límite superado |
| 2,46605E+09 | -29,786711 | Límite superado | 2,46815E+09 | -16,741518 | Límite superado | 2,47025E+09 | -12,892235 | Límite superado |

| Frecuencia | Potencia | | Frecuencia | Potencia | | Frecuencia | Potencia | |
|-------------|------------|-----------------|-------------|------------|-----------------|-------------|------------|-----------------|
| 2,47030E+09 | -13,252457 | Límite superado | 2,47240E+09 | -13,725715 | Límite superado | 2,47450E+09 | -11,155722 | Límite superado |
| 2,47035E+09 | -13,035646 | Límite superado | 2,47245E+09 | -11,789856 | Límite superado | 2,47455E+09 | -12,706183 | Límite superado |
| 2,47040E+09 | -12,909052 | Límite superado | 2,47250E+09 | -9,886944 | Límite superado | 2,47460E+09 | -12,939304 | Límite superado |
| 2,47045E+09 | -12,203284 | Límite superado | 2,47255E+09 | -11,311311 | Límite superado | 2,47465E+09 | -14,071545 | Límite superado |
| 2,47050E+09 | -10,246036 | Límite superado | 2,47260E+09 | -12,077749 | Límite superado | 2,47470E+09 | -13,885228 | Límite superado |
| 2,47055E+09 | -12,103801 | Límite superado | 2,47265E+09 | -11,937308 | Límite superado | 2,47475E+09 | -13,355428 | Límite superado |
| 2,47060E+09 | -13,675903 | Límite superado | 2,47270E+09 | -12,200423 | Límite superado | 2,47480E+09 | -14,04141 | Límite superado |
| 2,47065E+09 | -13,903622 | Límite superado | 2,47275E+09 | -11,26324 | Límite superado | 2,47485E+09 | -14,159308 | Límite superado |
| 2,47070E+09 | -13,957387 | Límite superado | 2,47280E+09 | -12,071537 | Límite superado | 2,47490E+09 | -14,41801 | Límite superado |
| 2,47075E+09 | -13,382154 | Límite superado | 2,47285E+09 | -12,154328 | Límite superado | 2,47495E+09 | -13,336772 | Límite superado |
| 2,47080E+09 | -13,687548 | Límite superado | 2,47290E+09 | -12,199697 | Límite superado | 2,47500E+09 | -10,834696 | Límite superado |
| 2,47085E+09 | -13,634047 | Límite superado | 2,47295E+09 | -11,594125 | Límite superado | 2,47505E+09 | -13,533062 | Límite superado |
| 2,47090E+09 | -13,519676 | Límite superado | 2,47300E+09 | -9,171906 | Límite superado | 2,47510E+09 | -15,105096 | Límite superado |
| 2,47095E+09 | -11,961071 | Límite superado | 2,47305E+09 | -11,540492 | Límite superado | 2,47515E+09 | -15,41308 | Límite superado |
| 2,47100E+09 | -9,046629 | Límite superado | 2,47310E+09 | -13,541251 | Límite superado | 2,47520E+09 | -15,418818 | Límite superado |
| 2,47105E+09 | -11,662324 | Límite superado | 2,47315E+09 | -13,490013 | Límite superado | 2,47525E+09 | -15,222384 | Límite superado |
| 2,47110E+09 | -12,442365 | Límite superado | 2,47320E+09 | -13,593769 | Límite superado | 2,47530E+09 | -15,723075 | Límite superado |
| 2,47115E+09 | -12,165724 | Límite superado | 2,47325E+09 | -13,28967 | Límite superado | 2,47535E+09 | -15,785202 | Límite superado |
| 2,47120E+09 | -12,070036 | Límite superado | 2,47330E+09 | -13,70086 | Límite superado | 2,47540E+09 | -15,70348 | Límite superado |
| 2,47125E+09 | -11,538177 | Límite superado | 2,47335E+09 | -13,632322 | Límite superado | 2,47545E+09 | -14,632069 | Límite superado |
| 2,47130E+09 | -12,042339 | Límite superado | 2,47340E+09 | -13,611701 | Límite superado | 2,47550E+09 | -12,879564 | Límite superado |
| 2,47135E+09 | -11,976475 | Límite superado | 2,47345E+09 | -12,232924 | Límite superado | 2,47555E+09 | -14,387724 | Límite superado |
| 2,47140E+09 | -12,009068 | Límite superado | 2,47350E+09 | -10,100887 | Límite superado | 2,47560E+09 | -15,876616 | Límite superado |
| 2,47145E+09 | -11,517534 | Límite superado | 2,47355E+09 | -11,811485 | Límite superado | 2,47565E+09 | -15,89157 | Límite superado |
| 2,47150E+09 | -9,832157 | Límite superado | 2,47360E+09 | -12,953549 | Límite superado | 2,47570E+09 | -15,823387 | Límite superado |
| 2,47155E+09 | -11,581229 | Límite superado | 2,47365E+09 | -12,88453 | Límite superado | 2,47575E+09 | -15,409985 | Límite superado |
| 2,47160E+09 | -13,672324 | Límite superado | 2,47370E+09 | -12,797228 | Límite superado | 2,47580E+09 | -16,187096 | Límite superado |
| 2,47165E+09 | -14,353813 | Límite superado | 2,47375E+09 | -12,536925 | Límite superado | 2,47585E+09 | -16,276177 | Límite superado |
| 2,47170E+09 | -15,351948 | Límite superado | 2,47380E+09 | -12,826983 | Límite superado | 2,47590E+09 | -16,54577 | Límite superado |
| 2,47175E+09 | -15,5896 | Límite superado | 2,47385E+09 | -12,960281 | Límite superado | 2,47595E+09 | -15,94356 | Límite superado |
| 2,47180E+09 | -17,822362 | Límite superado | 2,47390E+09 | -13,325004 | Límite superado | 2,47600E+09 | -13,510478 | Límite superado |
| 2,47185E+09 | -17,962705 | Límite superado | 2,47395E+09 | -12,232781 | Límite superado | 2,47605E+09 | -16,070857 | Límite superado |
| 2,47190E+09 | -20,044695 | Límite superado | 2,47400E+09 | -10,077596 | Límite superado | 2,47610E+09 | -17,938255 | Límite superado |
| 2,47195E+09 | -19,054423 | Límite superado | 2,47405E+09 | -12,181642 | Límite superado | 2,47615E+09 | -18,302986 | Límite superado |
| 2,47200E+09 | -17,055797 | Límite superado | 2,47410E+09 | -13,630041 | Límite superado | 2,47620E+09 | -18,471612 | Límite superado |
| 2,47205E+09 | -18,925487 | Límite superado | 2,47415E+09 | -13,964213 | Límite superado | 2,47625E+09 | -18,205095 | Límite superado |
| 2,47210E+09 | -20,019478 | Límite superado | 2,47420E+09 | -13,963119 | Límite superado | 2,47630E+09 | -18,925379 | Límite superado |
| 2,47215E+09 | -18,821294 | Límite superado | 2,47425E+09 | -13,353676 | Límite superado | 2,47635E+09 | -19,232378 | Límite superado |
| 2,47220E+09 | -17,575113 | Límite superado | 2,47430E+09 | -14,072331 | Límite superado | 2,47640E+09 | -19,206477 | Límite superado |
| 2,47225E+09 | -16,07765 | Límite superado | 2,47435E+09 | -14,079587 | Límite superado | 2,47645E+09 | -18,23703 | Límite superado |
| 2,47230E+09 | -15,369429 | Límite superado | 2,47440E+09 | -14,188875 | Límite superado | 2,47650E+09 | -16,381607 | Límite superado |
| 2,47235E+09 | -14,619689 | Límite superado | 2,47445E+09 | -12,854322 | Límite superado | 2,47655E+09 | -18,05436 | Límite superado |

| Frecuencia | Potencia | | Frecuencia | Potencia | | Frecuencia | Potencia | |
|-------------|------------|-----------------|-------------|------------|--------------------|-------------|------------|--------------------|
| 2,47660E+09 | -19,568658 | Límite superado | 2,47795E+09 | -29,170326 | Límite superado | 2,47930E+09 | -45,369128 | Límite no superado |
| 2,47665E+09 | -19,540472 | Límite superado | 2,47800E+09 | -27,185822 | Límite superado | 2,47935E+09 | -45,761165 | Límite no superado |
| 2,47670E+09 | -19,675619 | Límite superado | 2,47805E+09 | -28,997445 | Límite superado | 2,47940E+09 | -47,307949 | Límite no superado |
| 2,47675E+09 | -19,295199 | Límite superado | 2,47810E+09 | -30,633714 | Límite superado | 2,47945E+09 | -46,839489 | Límite no superado |
| 2,47680E+09 | -20,056335 | Límite superado | 2,47815E+09 | -31,125338 | Límite superado | 2,47950E+09 | -45,855839 | Límite no superado |
| 2,47685E+09 | -20,067837 | Límite superado | 2,47820E+09 | -31,566672 | Límite superado | 2,47955E+09 | -45,805372 | Límite no superado |
| 2,47690E+09 | -20,128346 | Límite superado | 2,47825E+09 | -31,629306 | Límite superado | 2,47960E+09 | -47,277693 | Límite no superado |
| 2,47695E+09 | -20,616677 | Límite superado | 2,47830E+09 | -32,902191 | Límite superado | 2,47965E+09 | -49,095106 | Límite no superado |
| 2,47700E+09 | -18,050073 | Límite superado | 2,47835E+09 | -33,285397 | Límite superado | 2,47970E+09 | -48,341147 | Límite no superado |
| 2,47705E+09 | -20,931967 | Límite superado | 2,47840E+09 | -33,399258 | Límite superado | 2,47975E+09 | -49,220298 | Límite no superado |
| 2,47710E+09 | -23,653803 | Límite superado | 2,47845E+09 | -33,954938 | Límite superado | 2,47980E+09 | -49,824608 | Límite no superado |
| 2,47715E+09 | -20,712352 | Límite superado | 2,47850E+09 | -32,186121 | Límite superado | 2,47985E+09 | -49,807786 | Límite no superado |
| 2,47720E+09 | -25,65393 | Límite superado | 2,47855E+09 | -34,793715 | Límite superado | 2,47990E+09 | -48,938912 | Límite no superado |
| 2,47725E+09 | -25,704209 | Límite superado | 2,47860E+09 | -36,729213 | Límite no superado | 2,47995E+09 | -49,190164 | Límite no superado |
| 2,47730E+09 | -28,893281 | Límite superado | 2,47865E+09 | -37,386486 | Límite no superado | 2,48000E+09 | -48,054529 | Límite no superado |
| 2,47735E+09 | -30,236078 | Límite superado | 2,47870E+09 | -38,425423 | Límite no superado | 2,48005E+09 | -48,804858 | Límite no superado |
| 2,47740E+09 | -32,629587 | Límite superado | 2,47875E+09 | -38,498993 | Límite no superado | 2,48010E+09 | -50,155757 | Límite no superado |
| 2,47745E+09 | -34,032641 | Límite superado | 2,47880E+09 | -39,693956 | Límite no superado | 2,48015E+09 | -51,091427 | Límite no superado |
| 2,47750E+09 | -32,531772 | Límite superado | 2,47885E+09 | -39,709646 | Límite no superado | 2,48020E+09 | -51,379368 | Límite no superado |
| 2,47755E+09 | -34,295261 | Límite superado | 2,47890E+09 | -41,080935 | Límite no superado | 2,48025E+09 | -51,539021 | Límite no superado |
| 2,47760E+09 | -34,504955 | Límite superado | 2,47895E+09 | -40,319552 | Límite no superado | 2,48030E+09 | -51,710019 | Límite no superado |
| 2,47765E+09 | -33,048791 | Límite superado | 2,47900E+09 | -38,169212 | Límite no superado | 2,48035E+09 | -52,140623 | Límite no superado |
| 2,47770E+09 | -32,491269 | Límite superado | 2,47905E+09 | -41,386242 | Límite no superado | 2,48040E+09 | -52,262007 | Límite no superado |
| 2,47775E+09 | -31,212545 | Límite superado | 2,47910E+09 | -43,313813 | Límite no superado | 2,48045E+09 | -51,429503 | Límite no superado |
| 2,47780E+09 | -30,984446 | Límite superado | 2,47915E+09 | -43,178048 | Límite no superado | 2,48050E+09 | -50,502769 | Límite no superado |
| 2,47785E+09 | -30,601977 | Límite superado | 2,47920E+09 | -44,478677 | Límite no superado | | | |
| 2,47790E+09 | -30,479884 | Límite superado | 2,47925E+09 | -44,866175 | Límite no superado | | | |

Tabla 3.2: Tabla generada paso 3

| Frecuencia | Potencia | | | Frecuencia | Potencia | | |
|-------------|----------|-----------------|------------------|-------------|----------|-----------------|------------------|
| 2,46550E+09 | -33,637 | Límite superado | Punto a estudiar | 2,46615E+09 | -31,4936 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,46555E+09 | -20,0676 | Límite superado | Punto omitido | 2,46620E+09 | -31,8602 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,46560E+09 | -34,62 | Límite superado | Punto a estudiar | 2,46625E+09 | -32,0345 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,46565E+09 | -34,3024 | Límite superado | Punto a estudiar | 2,46630E+09 | -33,4995 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,46570E+09 | -33,7416 | Límite superado | Punto a estudiar | 2,46635E+09 | -34,114 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,46575E+09 | -32,4704 | Límite superado | Punto a estudiar | 2,46640E+09 | -35,4151 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,46580E+09 | -32,2007 | Límite superado | Punto a estudiar | 2,46645E+09 | -35,4215 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,46585E+09 | -31,9526 | Límite superado | Punto a estudiar | 2,46650E+09 | -33,5117 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,46590E+09 | -31,3291 | Límite superado | Punto a estudiar | 2,46655E+09 | -34,3455 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,46595E+09 | -30,2267 | Límite superado | Punto a estudiar | 2,46660E+09 | -33,0997 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,46600E+09 | -27,3515 | Límite superado | Punto omitido | 2,46665E+09 | -31,3215 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,46605E+09 | -29,7867 | Límite superado | Punto omitido | 2,46670E+09 | -29,6217 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46610E+09 | -30,36 | Límite superado | Punto a estudiar | 2,46675E+09 | -27,7652 | Límite superado | Punto omitido |

| Frecuencia | Potencia | | | Frecuencia | Potencia | | |
|-------------|----------|-----------------|---------------|-------------|----------|-----------------|---------------|
| 2,46680E+09 | -26,3333 | Límite superado | Punto omitido | 2,46900E+09 | -11,0635 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46685E+09 | -25,2507 | Límite superado | Punto omitido | 2,46905E+09 | -13,6825 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46690E+09 | -24,4655 | Límite superado | Punto omitido | 2,46910E+09 | -14,5562 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46695E+09 | -21,6267 | Límite superado | Punto omitido | 2,46915E+09 | -14,4133 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46700E+09 | -18,5354 | Límite superado | Punto omitido | 2,46920E+09 | -14,2404 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46705E+09 | -20,9777 | Límite superado | Punto omitido | 2,46925E+09 | -13,7519 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46710E+09 | -21,436 | Límite superado | Punto omitido | 2,46930E+09 | -14,0658 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46715E+09 | -20,9877 | Límite superado | Punto omitido | 2,46935E+09 | -14,2092 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46720E+09 | -20,5245 | Límite superado | Punto omitido | 2,46940E+09 | -14,0969 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46725E+09 | -20,0783 | Límite superado | Punto omitido | 2,46945E+09 | -13,0814 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46730E+09 | -20,4577 | Límite superado | Punto omitido | 2,46950E+09 | -10,7012 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46735E+09 | -20,1931 | Límite superado | Punto omitido | 2,46955E+09 | -12,9388 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46740E+09 | -19,9691 | Límite superado | Punto omitido | 2,46960E+09 | -13,0816 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46745E+09 | -18,8475 | Límite superado | Punto omitido | 2,46965E+09 | -14,2809 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46750E+09 | -16,4676 | Límite superado | Punto omitido | 2,46970E+09 | -14,4224 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46755E+09 | -18,6252 | Límite superado | Punto omitido | 2,46975E+09 | -13,8733 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46760E+09 | -19,6572 | Límite superado | Punto omitido | 2,46980E+09 | -14,1661 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46765E+09 | -19,781 | Límite superado | Punto omitido | 2,46985E+09 | -14,0787 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46770E+09 | -19,6574 | Límite superado | Punto omitido | 2,46990E+09 | -14,0986 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46775E+09 | -18,7088 | Límite superado | Punto omitido | 2,46995E+09 | -12,5771 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46780E+09 | -18,9794 | Límite superado | Punto omitido | 2,47000E+09 | -10,3108 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46785E+09 | -18,6841 | Límite superado | Punto omitido | 2,47005E+09 | -12,344 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46790E+09 | -18,2951 | Límite superado | Punto omitido | 2,47010E+09 | -13,5438 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46795E+09 | -16,7337 | Límite superado | Punto omitido | 2,47015E+09 | -13,1552 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46800E+09 | -14,7156 | Límite superado | Punto omitido | 2,47020E+09 | -13,0657 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46805E+09 | -16,144 | Límite superado | Punto omitido | 2,47025E+09 | -12,8922 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46810E+09 | -17,1527 | Límite superado | Punto omitido | 2,47030E+09 | -13,2525 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46815E+09 | -16,7415 | Límite superado | Punto omitido | 2,47035E+09 | -13,0356 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46820E+09 | -16,3851 | Límite superado | Punto omitido | 2,47040E+09 | -12,9091 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46825E+09 | -15,9673 | Límite superado | Punto omitido | 2,47045E+09 | -12,2033 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46830E+09 | -16,2502 | Límite superado | Punto omitido | 2,47050E+09 | -10,246 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46835E+09 | -16,2335 | Límite superado | Punto omitido | 2,47055E+09 | -12,1038 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46840E+09 | -15,9582 | Límite superado | Punto omitido | 2,47060E+09 | -13,6759 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46845E+09 | -15,0287 | Límite superado | Punto omitido | 2,47065E+09 | -13,9036 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46850E+09 | -12,3216 | Límite superado | Punto omitido | 2,47070E+09 | -13,9574 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46855E+09 | -14,7468 | Límite superado | Punto omitido | 2,47075E+09 | -13,3822 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46860E+09 | -16,0692 | Límite superado | Punto omitido | 2,47080E+09 | -13,6875 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46865E+09 | -16,1656 | Límite superado | Punto omitido | 2,47085E+09 | -13,634 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46870E+09 | -15,8977 | Límite superado | Punto omitido | 2,47090E+09 | -13,5197 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46875E+09 | -15,3937 | Límite superado | Punto omitido | 2,47095E+09 | -11,9611 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46880E+09 | -15,6443 | Límite superado | Punto omitido | 2,47100E+09 | -9,04663 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46885E+09 | -15,5309 | Límite superado | Punto omitido | 2,47105E+09 | -11,6623 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46890E+09 | -15,4207 | Límite superado | Punto omitido | 2,47110E+09 | -12,4424 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,46895E+09 | -13,9419 | Límite superado | Punto omitido | 2,47115E+09 | -12,1657 | Límite superado | Punto omitido |

| Frecuencia | Potencia | | | Frecuencia | Potencia | | |
|-------------|----------|-----------------|---------------|-------------|----------|-----------------|---------------|
| 2,47120E+09 | -12,07 | Límite superado | Punto omitido | 2,47340E+09 | -13,6117 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47125E+09 | -11,5382 | Límite superado | Punto omitido | 2,47345E+09 | -12,2329 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47130E+09 | -12,0423 | Límite superado | Punto omitido | 2,47350E+09 | -10,1009 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47135E+09 | -11,9765 | Límite superado | Punto omitido | 2,47355E+09 | -11,8115 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47140E+09 | -12,0091 | Límite superado | Punto omitido | 2,47360E+09 | -12,9535 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47145E+09 | -11,5175 | Límite superado | Punto omitido | 2,47365E+09 | -12,8845 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47150E+09 | -9,83216 | Límite superado | Punto omitido | 2,47370E+09 | -12,7972 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47155E+09 | -11,5812 | Límite superado | Punto omitido | 2,47375E+09 | -12,5369 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47160E+09 | -13,6723 | Límite superado | Punto omitido | 2,47380E+09 | -12,827 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47165E+09 | -14,3538 | Límite superado | Punto omitido | 2,47385E+09 | -12,9603 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47170E+09 | -15,3519 | Límite superado | Punto omitido | 2,47390E+09 | -13,325 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47175E+09 | -15,5896 | Límite superado | Punto omitido | 2,47395E+09 | -12,2328 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47180E+09 | -17,8224 | Límite superado | Punto omitido | 2,47400E+09 | -10,0776 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47185E+09 | -17,9627 | Límite superado | Punto omitido | 2,47405E+09 | -12,1816 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47190E+09 | -20,0447 | Límite superado | Punto omitido | 2,47410E+09 | -13,63 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47195E+09 | -19,0544 | Límite superado | Punto omitido | 2,47415E+09 | -13,9642 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47200E+09 | -17,0558 | Límite superado | Punto omitido | 2,47420E+09 | -13,9631 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47205E+09 | -18,9255 | Límite superado | Punto omitido | 2,47425E+09 | -13,3537 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47210E+09 | -20,0195 | Límite superado | Punto omitido | 2,47430E+09 | -14,0723 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47215E+09 | -18,8213 | Límite superado | Punto omitido | 2,47435E+09 | -14,0796 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47220E+09 | -17,5751 | Límite superado | Punto omitido | 2,47440E+09 | -14,1889 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47225E+09 | -16,0777 | Límite superado | Punto omitido | 2,47445E+09 | -12,8543 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47230E+09 | -15,3694 | Límite superado | Punto omitido | 2,47450E+09 | -11,1557 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47235E+09 | -14,6197 | Límite superado | Punto omitido | 2,47455E+09 | -12,7062 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47240E+09 | -13,7257 | Límite superado | Punto omitido | 2,47460E+09 | -12,9393 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47245E+09 | -11,7899 | Límite superado | Punto omitido | 2,47465E+09 | -14,0715 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47250E+09 | -9,88694 | Límite superado | Punto omitido | 2,47470E+09 | -13,8852 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47255E+09 | -11,3113 | Límite superado | Punto omitido | 2,47475E+09 | -13,3554 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47260E+09 | -12,0777 | Límite superado | Punto omitido | 2,47480E+09 | -14,0414 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47265E+09 | -11,9373 | Límite superado | Punto omitido | 2,47485E+09 | -14,1593 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47270E+09 | -12,2004 | Límite superado | Punto omitido | 2,47490E+09 | -14,418 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47275E+09 | -11,2632 | Límite superado | Punto omitido | 2,47495E+09 | -13,3368 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47280E+09 | -12,0715 | Límite superado | Punto omitido | 2,47500E+09 | -10,8347 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47285E+09 | -12,1543 | Límite superado | Punto omitido | 2,47505E+09 | -13,5331 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47290E+09 | -12,1997 | Límite superado | Punto omitido | 2,47510E+09 | -15,1051 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47295E+09 | -11,5941 | Límite superado | Punto omitido | 2,47515E+09 | -15,4131 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47300E+09 | -9,17191 | Límite superado | Punto omitido | 2,47520E+09 | -15,4188 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47305E+09 | -11,5405 | Límite superado | Punto omitido | 2,47525E+09 | -15,2224 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47310E+09 | -13,5413 | Límite superado | Punto omitido | 2,47530E+09 | -15,7231 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47315E+09 | -13,49 | Límite superado | Punto omitido | 2,47535E+09 | -15,7852 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47320E+09 | -13,5938 | Límite superado | Punto omitido | 2,47540E+09 | -15,7035 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47325E+09 | -13,2897 | Límite superado | Punto omitido | 2,47545E+09 | -14,6321 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47330E+09 | -13,7009 | Límite superado | Punto omitido | 2,47550E+09 | -12,8796 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47335E+09 | -13,6323 | Límite superado | Punto omitido | 2,47555E+09 | -14,3877 | Límite superado | Punto omitido |

| Frecuencia | Potencia | | | Frecuencia | Potencia | | |
|-------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|------------|-----------------|------------------|
| 2,47560E+09 | -15,87662 | Límite superado | Punto omitido | 2,47710E+09 | -23,653803 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47565E+09 | -15,89157 | Límite superado | Punto omitido | 2,47715E+09 | -20,712352 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47570E+09 | -15,82339 | Límite superado | Punto omitido | 2,47720E+09 | -25,65393 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47575E+09 | -15,40999 | Límite superado | Punto omitido | 2,47725E+09 | -25,704209 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47580E+09 | -16,1871 | Límite superado | Punto omitido | 2,47730E+09 | -28,893281 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47585E+09 | -16,27618 | Límite superado | Punto omitido | 2,47735E+09 | -30,236078 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47590E+09 | -16,54577 | Límite superado | Punto omitido | 2,47740E+09 | -32,629587 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47595E+09 | -15,94356 | Límite superado | Punto omitido | 2,47745E+09 | -34,032641 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47600E+09 | -13,51048 | Límite superado | Punto omitido | 2,47750E+09 | -32,531772 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47605E+09 | -16,07086 | Límite superado | Punto omitido | 2,47755E+09 | -34,295261 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47610E+09 | -17,93826 | Límite superado | Punto omitido | 2,47760E+09 | -34,504955 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47615E+09 | -18,30299 | Límite superado | Punto omitido | 2,47765E+09 | -33,048791 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47620E+09 | -18,47161 | Límite superado | Punto omitido | 2,47770E+09 | -32,491269 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47625E+09 | -18,2051 | Límite superado | Punto omitido | 2,47775E+09 | -31,212545 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47630E+09 | -18,92538 | Límite superado | Punto omitido | 2,47780E+09 | -30,984446 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47635E+09 | -19,23238 | Límite superado | Punto omitido | 2,47785E+09 | -30,601977 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47640E+09 | -19,20648 | Límite superado | Punto omitido | 2,47790E+09 | -30,479884 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47645E+09 | -18,23703 | Límite superado | Punto omitido | 2,47795E+09 | -29,170326 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47650E+09 | -16,38161 | Límite superado | Punto omitido | 2,47800E+09 | -27,185822 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47655E+09 | -18,05436 | Límite superado | Punto omitido | 2,47805E+09 | -28,997445 | Límite superado | Punto omitido |
| 2,47660E+09 | -19,56866 | Límite superado | Punto omitido | 2,47810E+09 | -30,633714 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47665E+09 | -19,54047 | Límite superado | Punto omitido | 2,47815E+09 | -31,125338 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47670E+09 | -19,67562 | Límite superado | Punto omitido | 2,47820E+09 | -31,566672 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47675E+09 | -19,2952 | Límite superado | Punto omitido | 2,47825E+09 | -31,629306 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47680E+09 | -20,05634 | Límite superado | Punto omitido | 2,47830E+09 | -32,902191 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47685E+09 | -20,06784 | Límite superado | Punto omitido | 2,47835E+09 | -33,285397 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47690E+09 | -20,12835 | Límite superado | Punto omitido | 2,47840E+09 | -33,399258 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47695E+09 | -20,61668 | Límite superado | Punto omitido | 2,47845E+09 | -33,954938 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47700E+09 | -18,05007 | Límite superado | Punto omitido | 2,47850E+09 | -32,186121 | Límite superado | Punto a estudiar |
| 2,47705E+09 | -20,93197 | Límite superado | Punto omitido | 2,47855E+09 | -34,793715 | Límite superado | Punto a estudiar |

Tabla 4.1: Tabla generada paso 4. Espurios Wideband

| Frecuencia | Potencia nueva | Potencia antigua | Frecuencia | Potencia nueva | Potencia antigua |
|-------------|----------------|------------------|-------------|----------------|------------------|
| 2,46550E+09 | -39,168671 | -33,636975 | 2,47735E+09 | -35,098157 | -30,236078 |
| 2,46560E+09 | -38,815523 | -34,619978 | 2,47740E+09 | -36,61965 | -32,629587 |
| 2,46565E+09 | -37,9938 | -34,302401 | 2,47745E+09 | -38,128844 | -34,032641 |
| 2,46570E+09 | -37,416713 | -33,741633 | 2,47750E+09 | -36,679584 | -32,531772 |
| 2,46575E+09 | -37,901534 | -32,470371 | 2,47755E+09 | -38,963916 | -34,295261 |
| 2,46580E+09 | -36,518688 | -32,200672 | 2,47760E+09 | -37,834705 | -34,504955 |
| 2,46585E+09 | -36,957276 | -31,952588 | 2,47765E+09 | -38,09956 | -33,048791 |
| 2,46590E+09 | -34,883504 | -31,329141 | 2,47770E+09 | -35,836232 | -32,491269 |
| 2,46595E+09 | -35,021478 | -30,22674 | 2,47775E+09 | -35,262968 | -31,212545 |
| 2,46610E+09 | -35,106506 | -30,359992 | 2,47780E+09 | -34,26486 | -30,984446 |
| 2,46615E+09 | -35,027435 | -31,493641 | 2,47785E+09 | -33,902716 | -30,601977 |
| 2,46620E+09 | -35,483548 | -31,860215 | 2,47790E+09 | -33,456981 | -30,479884 |
| 2,46625E+09 | -36,922929 | -32,034459 | 2,47810E+09 | -32,824518 | -30,633714 |
| 2,46630E+09 | -36,707223 | -33,499486 | 2,47815E+09 | -35,346781 | -31,125338 |
| 2,46635E+09 | -39,329054 | -34,113951 | 2,47825E+09 | -35,250808 | -31,629306 |
| 2,46640E+09 | -38,162108 | -35,415061 | 2,47830E+09 | -36,43404 | -32,902191 |
| 2,46645E+09 | -38,19723 | -35,421462 | 2,47835E+09 | -37,200348 | -33,285397 |
| 2,46650E+09 | -39,182159 | -33,51168 | 2,47840E+09 | -37,407342 | -33,399258 |
| 2,46655E+09 | -38,129112 | -34,345505 | 2,47845E+09 | -36,87816 | -33,954938 |
| 2,46660E+09 | -36,341592 | -33,099663 | 2,47850E+09 | -37,765032 | -32,186121 |
| 2,46665E+09 | -35,43588 | -31,321481 | 2,47855E+09 | -40,494978 | -34,793715 |

Tabla 4.2: Tabla generada paso 4. Espurios Narrowband

| Frecuencia | Potencia nueva | Potencia antigua |
|-------------|----------------|------------------|
| 2,47820E+09 | -33,539557 | -31,566672 |

Tabla 5: Tabla generada paso 5

| Frecuencia | Potencia | Frecuencia | Potencia | Frecuencia | Potencia | Frecuencia | Potencia |
|-------------|----------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 2,46550E+09 | -38,1306 | 2,46620E+09 | -35,385754 | 2,47740E+09 | -36,344194 | 2,47810E+09 | -33,787546 |
| 2,46560E+09 | -38,6112 | 2,46625E+09 | -37,719029 | 2,47745E+09 | -38,232844 | 2,47815E+09 | -34,709829 |
| 2,46565E+09 | -38,9578 | 2,46630E+09 | -37,448537 | 2,47750E+09 | -37,904139 | 2,47820E+09 | -34,367167 |
| 2,46570E+09 | -37,1199 | 2,46635E+09 | -38,827688 | 2,47755E+09 | -39,646884 | 2,47825E+09 | -34,308475 |
| 2,46575E+09 | -37,0314 | 2,46640E+09 | -39,415881 | 2,47760E+09 | -37,699669 | 2,47830E+09 | -36,554382 |
| 2,46580E+09 | -36,3119 | 2,46645E+09 | -40,808955 | 2,47765E+09 | -36,765591 | 2,47835E+09 | -36,39037 |
| 2,46585E+09 | -36,4784 | 2,46650E+09 | -38,002353 | 2,47770E+09 | -35,783605 | 2,47840E+09 | -37,14174 |
| 2,46590E+09 | -34,929 | 2,46655E+09 | -38,428417 | 2,47775E+09 | -35,47751 | 2,47845E+09 | -38,919271 |
| 2,46595E+09 | -35,5697 | 2,46660E+09 | -37,00084 | 2,47780E+09 | -33,291727 | 2,47850E+09 | -36,50852 |
| 2,46610E+09 | -34,2193 | 2,46665E+09 | -34,647657 | 2,47785E+09 | -33,365447 | 2,47855E+09 | -38,703844 |
| 2,46615E+09 | -35,6692 | 2,47735E+09 | -34,123365 | 2,47790E+09 | -32,397811 | | |

Bibliografía

Referencias impresas:

- [1] H. W. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering*, John Wiley & Sons, 2009.
- [3] ETSI, *Norma EN 300 328 versión 1.7.1 (2006-10)*.
- [4] C. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, 0-471-54927-4 ed., John Wiley & Sons, 1992.
- [5] H. Labiod, H. Afifi and C. De Santis, *Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee and WiMAX*, Springer, 2007.
- [6] J. A. Rabadán Borges, R. Pérez Jiménez, S. Rodríguez Pérez y F. López Hernández, *Fundamentos de los Sistemas del Espectro Ensanchado*.
- [7] R. &. Schwarz, *Operating Manual EMI Test Receiver*.
- [8] *LabVIEW GPIB and Serial Port VI Reference Manual*, National Instruments, 1993.
- [9] J. Travis and J. Kring, *LabVIEW For Everyone*, Prentice Hall.

Referencias web:

- [2] ETSI Web page: <http://www.etsi.org>. [Fecha última visita: Octubre 2012].